

ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILH. HIS UND DR. WILH. BRAUNE,

PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1886.

SUPPLEMENT-BAND

ZUR

PHYSIOLOGISCHEN ABTHEILUNG.

LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1886.



ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG DES
ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG MEHRERER GELEHRTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1886.
SUPPLEMENT-BAND.

MIT ABBILDUNGEN IM TEXT UND 18 TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1886.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

Berichtigungen.

S. 51 Z. 5 v. u. schalte hinter „ist“ „nicht“ ein.
„ 60 „ 6 v. o. setze statt Taf. II „Taf. III.“
„ 60 „ 13 v. o. „ „ Taf. II „Taf. III.“
„ 60 „ 11 v. u. „ „ Taf. III „Taf. IV.“
„ 61 „ 16 v. o. „ „ Taf. III „Taf. IV.“
„ 73 Anm. füge hinzu: „Jahrg. 1878.“
„ 77 Z. 19 v. o. setze statt Taf. IV „Taf. V.“
„ 83 „ 4 v. o. lies statt „ist das vasomotorische Centrum“: „des vasomotorischen Centrums“.
„ 83 „ 6 v. u. setze statt Taf. VII „Taf. VI.“
„ 103 „ 12 v. o. „ „ Taf. VIII „Taf. IX“
„ 107 „ 8 v. o. „ „ Taf. VII „Taf. VI.“
„ 107 „ 12 v. o. „ „ Taf. VII „Taf. VI.“
„ 110 „ 4 v. o. „ „ Fig. 16 „Fig. 19.“

Zur Kenntniss der willkürlichen Muskelthätigkeit.[1]

Von

J. v. Kries.

(Aus dem physiologischen Institut zu Freiburg.)

(Hierzu Taf. I.)

Einer Untersuchung der willkürlichen Muskelthätigkeit bieten sich wesentlich zwei verschiedene Aufgaben, welche, wiewohl in naher Beziehung zu einander, doch sorgfältig unterschieden werden müssen. Wir können zunächst die Bewegungen beobachten, welche sich an den festen (knöchernen) Theilen des Körpers durch willkürliche Muskelthätigkeit hervorbringen lassen; wir wollen sie kurz die resultirenden Bewegungen nennen. Da es schon bekannt ist, dass diese Bewegungen in der Regel durch ein verwickeltes Zusammenwirken vieler Muskeln bewirkt werden, so erhebt sich als weitere Frage die nach der Thätigkeit der einzelnen Muskeln. In dieser letzteren Hinsicht steht seit geraumer Zeit die Frage nach gewissen zeitlichen Verhältnissen, insbesondere nach der Stetigkeit oder Discontinuität, eventuell nach dem Rhythmus der Innervation, im Mittelpunkt des Interesses, ohne jedoch bis jetzt abschliessend beantwortet zu sein. Aber auch in der ersteren bieten sich gewisse einigermaassen ähnliche Fragen, welche mir ein selbständiges Interesse zu verdienen scheinen.

[1] Die nachstehenden Mittheilungen gründen sich auf Versuche, welche zum Theil von mir, zum Theil von meinem Assistenten, Hrn. Cand. med. Bartenstein ausgeführt wurden. Die Versuche waren abgeschlossen, als ich von den Arbeiten von Horsley und Schäfer im Aprilheft des *Journal of Physiology*, 1886, Kenntniss erhielt. Ein Theil derselben deckt sich mit einigen unserer Versuchsergebnisse fast vollständig und es wird darauf an der betreffenden Stelle Bezug genommen werden.

Die resultirenden Bewegungen.

Kürzeste Bewegungen. Die Leistungen, welche wir mit irgend einem beweglichen Theile ausführen können, sind zunächst in Bezug auf ihre zeitlichen Verhältnisse insofern beschränkt, als jede Bewegung eine messbare Zeit in Anspruch nimmt, welche unter einen gewissen Grenzwerth nicht vermindert werden kann. Wir können z. B. mit einem Finger oder mit der ganzen Hand eine möglichst kurze Beugebewegung ausführen; ähnlich ist die Bewegung, die mit dem ganzen Arm gemacht wird, wenn man mit einer Peitsche knallt. Die Dauer einer solchen kürzesten Bewegung zu ermitteln ist aus verschiedenen Gründen von Interesse; es bot sich hierzu zunächst die Methode der ähnlichen Versuche, welche von Baxt und Yeo angestellt und von Kronecker mitgetheilt wurden,[1] nämlich die elektromagnetische Aufzeichnung von Anfang, Umkehr und Ende der Bewegung.

Eine Anzahl von Gründen liess es indessen wünschenswerth erscheinen, den Verlauf kürzester Bewegungen vollständiger und genauer kennen zu lernen als es die elektrische Registrirung einiger Punkte ermöglicht. Es gelingt dies auch ohne erhebliche Schwierigkeit. Es ist nur nothwendig, bei gut unterstützter Hand den Finger auf ein federndes Stahlplättchen aufzusetzen und seine Bewegungen mittelst eines an der Stahlplatte befestigten Glasstreifens direct auf die schnell rotirende Trommel des Baltzar'schen Kymographions aufschreiben zu lassen. Auch kann man leicht am Finger selbst ein Schreibhebelchen befestigen und seine Bewegungen ohne Einführung eines federnden Apparates registriren; doch ist hierbei die Führung der Schreibvorrichtung natürlich stets eine etwas unsichere.

Die kürzesten Bewegungen, welche in dieser Weise zur Anschauung gebracht werden, lassen sich in ihrem zeitlichen Verlauf durch die Angabe eines einzelnen Zahlenwerthes nur unvollständig charakterisiren. Schreibt man in der zuletzt erwähnten Weise die Haltung des Fingers auch vor und nach der Anschlagbewegung auf, so findet man stets, dass weder Anfang noch Ende derselben ganz scharf angegeben werden kann. Schon vor dem Anschlage kann man mit dem durch Muskelkräfte fixirten Finger auf die rotirende Trommel des Kymographions keine gerade Linie zeichnen; man erhält vielmehr, analog den von Brücke ausführlich geschilderten Erscheinungen, stets eine gewellte Linie; demgemäss ist der Anfang der schnellen Bewegung nicht ganz scharf markirt, ebensowenig das Ende. Nichtsdestoweniger erhält man durch die volle graphische Darstellung ein ziemlich deutliches

[1] Kronecker und Hall, Die willkürliche Muskelaction. *Dies Archiv.* 1879. Supplementband. S. 17.



Bild von dem Verlauf einer solchen kürzesten Bewegung. Fig. 1 *a* und *b* stellen solche schnellste Willkürbewegungen, kürzeste Bewegungen meines rechten Mittelfingers, dar. 1 mm Trommelperipherie entspricht $^1/_{77}$ Secunde; die Zeit, welche vom Einsetzen der Bewegung verstreicht, bis der Finger seine Ausgangsstellung wieder passirt, beläuft sich in einer grösseren Reihe solcher Versuche auf $^1/_{11}$ bis $^1/_7$ Secunde. Der Vergleich mit solchen Bewegungen, der durch einen einzelnen Inductionsschlag hervorgerufen wurde, lehrt unmittelbar, dass diese letzteren länger dauern. Fig. 2 zeigt die in genau gleicher Weise und bei gleicher Trommelgeschwindigkeit registrirten Beugezuckungen, welche der Mittelfinger bei Reizung der Beugemuskeln durch einen einzelnen Inductionsschlag ausführt.

Nur wenig andere Ergebnisse erhält man bei der ersten der oben erwähnten Methoden, wenn der Schreibhebel nicht am Finger befestigt ist, sondern an ein federndes Plättchen, auf welches der Finger aufgesetzt wird. Bei dieser Methode erhält man die präcisesten Werthe; denn einerseits gelingt es nach einiger Uebung die Bewegung ganz scharf einsetzen zu lassen; andererseits bietet sich als zweiter Begrenzungspunkt naturgemäss der Moment, in welchem die zurückgehende Feder wieder die Gleichgewichtslage passirt. Indessen muss beachtet werden, dass wenn man hier von der Dauer einer derartigen Bewegung spricht, darunter eben gar nichts weiter verstanden ist, als die Zeit, die zur Durchlaufung eines gewissen Weges vor- und rückwärts und zur Erreichung des Ausgangspunktes gebraucht wird. Falsch aber wäre es, sich vorzustellen, dass die Bewegung hiermit überhaupt zu Ende wäre. Sie überdauert vielmehr jenen Zeitpunkt, wie die vorher erwähnten Erscheinungen zeigen, nicht unerheblich; diese letzten Stadien werden nicht registrirt, weil die Feder dem schnell zurückgezogenen Finger nicht weit über ihre Gleichgewichtslage hinaus folgt. Ich erhielt bei dieser Methode noch kleinere Werthe für die Dauer kürzester Bewegungen, als bei der vorigen, und es kann dies mit Sicherheit darauf zurückgeführt werden, dass die Bewegungen hier freier und weniger genirt sind, als wenn der Finger selbst den Schreibhebel trägt, wobei man auf die Haltung und Bewegungsrichtung behufs richtiger Führung der Schreibspitze sorgfältig achten muss. Es gelingt daher hier bei einiger Uebung ganz leicht, die kürzesten Anschlagsbewegungen sehr gleichmässig und noch etwas kürzer als die kürzesten vorher erwähnten auszuführen. Die folgenden Tabellen enthalten im ersten Stabe den Umfang der von der Schreibspitze ausgeführten Excursionen in Millimetern (dieselbe giebt die Bewegung des Fingers in erheblicher Vergrösserung), im zweiten die Dauer der Bewegung in Secunden; und zwar bezieht sich Tab. I auf kürzeste Anschläge, welche durch Bewegung des Mittelfingers der fixirten Hand, Tabelle II auf solche, welche durch Bewegung der ganzen Hand im Handgelenk ausgeführt wurden.

Tabelle I.

Kürzeste Bewegungen des Mittelfingers.

Grösse der Excursion in Millimetern	Dauer in Secunden
4·0	0·071
4·5	0·071
5·5	0·084
6·0	0·071
10·0	0·065
16·5	0·065
18·0	0·078
18·5	0·071
34	0·097
36	0·091
45	0·084

Tabelle II.

Kürzeste Bewegungen der Hand.

Grösse der Excursion in Millimetern	Dauer in Secunden
5	0·068
9	0·064
14	0·099
16	0·071
19	0·058
25	0·068
26	0·073
27	0·071
30	0·078
34	0·091

Es berechnet sich hieraus für die kürzesten Bewegungen im Mittel eine Dauer von 0·077 Secunden (Fingerbewegung) bez. 0·074 Secunden (Bewegung der Hand), also etwas weniger als $^1/_{13}$ Secunde. Der Umfang der Bewegungen ist auf die Dauer von nur geringem Einfluss; doch scheint es, dass die Bewegungen von einem gewissen mittleren Umfange am schnellsten ausgeführt werden können, und sowohl die sehr kleinen als die sehr grossen ein wenig länger dauern.

Wiewohl nun hieraus hervorgeht, dass kürzeste Willkürbewegungen weit schneller ausgeführt werden können, als Inductions-Zuckungen, so wird es doch nicht gestattet sein, aus der Kürze der von uns beobachteten Willkürbewegungen auf die Einfachheit des sie auslösenden Innervations-Anstosses zu schliessen. Vielmehr ist zu erwägen, wie auch Kronecker hervorhebt, dass derartige Bewegungen, sobald man sich bemüht sie möglichst kurz auszuführen, durch das passende Zusammenwirken der beugenden und streckenden Muskeln bewirkt werden. Offenbar setzt die Action der Strecker sehr kurze Zeit nach derjenigen der Beuger ein und schneidet die eingeleitete Beugebewegung ab. Wir erhalten also durch diese kürzesten Bewegungen einen Maassstab nicht für die Thätigkeitsdauer des einzelnen Muskels, sondern für das kleinste Intervall, in welchem unser Wille zwei Innervationen hervorzubringen im Stande ist, welche getrennt vorgestellt und als successive beabsichtigt werden. Dieses Intervall ist annähernd gegeben durch die Zeit, welche zwischen dem Beginn und dem Umkehrpunkt der kürzesten Bewegungen liegt. Diese Zeit ist nur wenig kürzer, als diejenige, welche

oben als die ganze Dauer der Bewegung bezeichnet wurde. Im Allgemeinen setzt nämlich die Gegenbewegung mit bedeutender Heftigkeit ein, so dass der Rückgang schneller als der Hingang stattfindet. Die Zeit vom Anfang bis zum Umkehrpunkt ist daher stets erheblich länger als die von dieser bis zur Erreichung der Ausgangsstellung. Sie ergiebt sich z. B. in einem der obigen Versuche = 0·061 Secunden, während die ganze Bewegung 0·078 Secunden dauert. Auch in den kürzesten Bewegungen sinkt das Intervall zwischen Beginn der Beugung und der Umkehr der Bewegung nicht unter $^1/_{20}$ Secunde.

Manche Beobachtungen sprechen dafür, dass auch unter anderen Umständen, sobald wir beabsichtigen zwei Bewegungen successive auszuführen, wir dieselben nicht in kleinerem Intervall als dem genannten ($^1/_{16}$—$^1/_{20}$ Secunde) können aufeinander folgen lassen. Solcher Art ist z. B. die Grenze, welche wir finden, wenn wir die Finger einer Hand möglichst schnell nach einander auf eine Unterlage aufschlagen lassen, wie es der Klavierspieler bei Ausführung eines Laufes thut.[1] Das kleinste Intervall, welches ich hierbei erreichen kann, beträgt etwa $^1/_{16}$ Secunde. Einen deutlichen Ausdruck findet diese Thatsache in den der Klaviertechnik gesteckten Grenzen. In der That folgen bei der grössten Geschwindigkeit, mit welcher Passagen ausgeführt werden können, die einzelnen Töne wohl niemals schneller als in Intervallen von $^1/_{16}$ Secunden. Man kann das leicht aus manchen Werken der musikalischen Litteratur verificiren, bei welchen das Tempo der Ausführung durch das Metronom bezeichnet ist, und bei welchem man, wie bei manchen Studienwerken, annehmen darf, dass die geforderte Geschwindigkeit sich der höchsten technisch erreichbaren annähert. So sind bei dem vorgeschriebenen Tempo in Chopin's Etude Op. 25 Nr. 2 11·2 Töne in der Secunde, in Czerny's Schule der Fingerfertigkeit in Nr. 1 12·3, in Nr. 2 12·0, in Nr. 4 12·8 Töne in der Secunde anzuschlagen. Diese Geschwindigkeit kann in kurzen Passagen wohl noch etwas überboten werden; begreiflicherweise muss man hinter der äussersten durch die physiologischen Verhältnisse gesteckten Grenze etwas zurückbleiben, wenn ein längeres Stück in gleichmässiger und correcter Weise ausgeführt werden soll.

Kürzeste Bewegungen anderer Körpertheile scheinen sich von denjenigen

[1] Man darf sich hierbei nicht dadurch täuschen lassen, dass man bei einer bestimmten Einstellung der Finger ein successives Aufschlagen durch eine Bewegung bewirken kann, wobei das Intervall sich natürlich beliebig klein machen lässt. Bei dieser Art der Bewegung beherrscht man das Intervall, in welchem die einzelnen Finger aufschlagen, nicht mit Sicherheit, und sie wird leicht ausgeschlossen, sobald man darauf achtet, einen bestimmten Rhythmus einzuhalten, der oft gleichmässig wiederholt werden kann. Dies gelingt nur durch eine wirklich successive Innervation und ergiebt die oben genannte Geschwindigkeitsgrenze.



der Hand und der Finger nicht so erheblich zu unterscheiden, wie man von vornherein zu erwarten geneigt ist. Die Zunge liefert Werthe, welche etwa $^1/_{15}$ Secunde betragen. Eine möglichst kurze Plantarflexion des Fusses dauert $^1/_8 - ^1/_9$ Secunde. Selbst bei der viel träger erscheinenden Kieferbewegung findet man, dass eine möglichst kurze Beissbewegung nur $^1/_8$ bis $^1/_9$ Secunde dauert.

Schnellste rhythmische Wiederholung von Bewegungen. Eine weitere Reihe von Versuchen betraf die schnelle Wiederholung einer und derselben Bewegung. Auch hier fanden wir die physiologischen Leistungen bedeutender, als man zu erwarten geneigt ist. Die höchste Beweglichkeit zeigen Finger und Hand; es kann hier die Periode der Bewegungen bei einiger Uebung leicht bis auf $^1/_{10}$, selbst $^1/_{11}$ Secunde verkürzt werden. Auch der wenig Geübte bringt es leicht dahin, dieselbe Anschlags-Bewegung zwei oder drei Mal nacheinander in so kurzem Intervall auszuführen. Erst bei etwas grösserer Uebung gelingt die häufigere gleichmässige Wiederholung in so hoher Frequenz. Da für die Ausführung solcher Versuche eine möglichst freie Beweglichkeit erforderlich ist, so ist es am besten, die Aufzeichnung so zu bewirken, dass man mit dem Finger auf eine Metallplatte aufschlägt, wobei ein am Finger befestigter Draht einen elektrischen Strom schliesst. Die Zahl der Stromschliessungen in der Secunde ist nach bekannter Methode leicht zu registriren. In Fig. 3 sind auf diese Weise registrirte Anschläge des Mittelfingers dargestellt; die obere Linie ist die von dem Registrir-Magnete gezeichnete; die untere markirt $^1/_{43}$ Secunden; es folgen, wie man sieht, die Anschläge in Intervallen von etwas weniger als $^1/_{10}$ Secunde. Auch nach dieser Richtung könnte man die Grenze der physiologischen Leistungsfähigkeit aus der äussersten Leistung der Klaviertechnik mit ziemlicher Sicherheit im Voraus angeben. Repetirte Bewegungen im Handgelenk werden z. B. ausgeführt, wenn mit wesentlich gleicher Haltung der Hand schnell nach einander dieselben oder gleichgelegene Tasten anzuschlagen sind, wie etwa bei Octaven-Gängen. Die Schnelligkeit, welche hier verlangt und geleistet wird, geht bis etwa 8 pro Secunde. Die Octaven-Étude Nr. 8 in Chopin's Op. 25 verlangt 7·2 Anschläge in der Secunde; in Schumann's Klavierquartett im Scherzo hat die linke Hand denselben Sext-Griff 12 Mal hintereinander im Rhythmus von 8 pro Secunde anzuschlagen. Manche Virtuosen überbieten, wie ich glaube behaupten zu können, diese Geschwindigkeiten noch, und dürften gelegentlich hinter der Frequenz 11 pro Secunde kaum zurückbleiben.

Was die Leistung anderer Muskeln in der gleichen Beziehung anlangt, so scheint zunächst die Musculatur der Sprachwerkzeuge derjenigen der Finger und der Hand fast genau gleich zu stehen. Die Geschwindigkeit, mit welcher man eine einfache Silbe wiederholen (etwa la la la sagen) kann,

stimmt fast genau überein mit derjenigen der schnellst wiederholten Anschlagsbewegungen; es sind hier Repetitionsbewegungen der Zunge und der Kehlkopfmusculatur im Spiele. Die höchste erreichbare Frequenz der Kiefer-(Beiss-)Bewegungen geht nicht über 6·2 pro Secunde. An der Respirations-Musculatur von Hunden im Zustande der Wärme-Dyspnoë kann man die Periode der Bewegungen bis auf $^1/_7$ Secunde verkürzt sehen. Plantarflexionen des Fusses lassen sich in Intervallen von circa $^1/_7$ Secunde wiederholen.

Thätigkeit und Innervation der einzelnen Muskeln.

Man erhält eine Reihe andersartiger Aufschlüsse, wenn man die Zusammenziehungen der einzelnen Muskeln zum Gegenstande der Untersuchung macht. Am zweckmässigsten geschieht dies, indem man die Verdickungen aufschreiben lässt. Man ermittelt so einerseits die Dauer, über welche sich unter verschiedenen Verhältnissen die Thätigkeit eines Muskels erstreckt; andererseits zeigen die zu erhaltenden Curven fast immer die mehr oder weniger regelmässigen periodischen Schwankungen, welche auf den Rhythmus der Innervation schliessen lassen. Was die Methodik derartiger Versuche anlangt, so ist sie ungemein einfach; man kann die rhythmischen Anschwellungen eines in Thätigkeit gesetzten Muskels ohne Schwierigkeit registriren. Am bequemsten ist es, einen Marey'schen Tambour auf den Muskel aufzusetzen, und zwar einen solchen, der, wie die Cardiographen, einen durch eine Spiralfeder vorgedrückten Knopf trägt. Die Bewegungen werden in bekannter Weise auf den Schreibtambour übertragen und aufgezeichnet. Das Verfahren reicht für langsame Bewegungen und für Dauer-Contractionen aus; für schnelle und kurze Bewegungen dagegen ist es wegen der Eigenschwingungen des Registrir-Apparates nicht hinlänglich sicher. Ich benutzte daher in der Regel einen dem Marey'schen Sphygmographen nachgebildeten Apparat. Ein federndes Stahlplättchen ist an einem Ende fixirt, das andere freie Ende trägt auf der einen Fläche eine circa 2 ^{cm} langes Holzstäbchen, an welchem die auf den Muskel aufzusetzende kleine Pelotte, ein dünnes Holzplättchen von 1 ^{cm} Durchmesser, befestigt ist; auf der anderen Fläche der Stahlfeder sitzt eine Schneide, welche ganz wie beim Marey'schen Sphygmographen die Bewegungen der Feder mit starker Vergrösserung auf einen sehr leichten Schreibhebel überträgt. Ich untersuchte mittels dieser Einrichtung vorzugsweise die Contractionen der Beugemusculatur am Unterarm. Zu diesem Zwecke ist der Apparat an einem Stativ so fixirt, dass das Holzstäbchen horizontal von links nach rechts steht, die Pelotte nach rechts gewendet. Der rechte Arm wird mit dem Ellenbogen auf die Tischplatte gestützt; um die Volarseite des Unterarmes dem Stäbchen gut anzulegen, wird der Unterarm gerade

nach vorn gerichtet und ein wenig gehoben, so dass die Hand ein wenig über der Tischplatte liegt; die Hand wird so weit pronirt bezw. supinirt, dass der Handteller vertical steht. Das Handgelenk wird (das ist durchaus erforderlich) durch einen passenden Halter unterstützt und leicht fixirt.

Nachdem man zunächst durch den tastenden Finger sich die Stelle des Unterarmes gesucht hat, welche bei Bewegung des Mittelfingers oder der Hand eine starke Vorwölbung erfährt, gelingt es bald, dieselbe an den Schreibapparat richtig anzulegen, und bei Ausführung dieser Bewegungen hinlängliche Excursionen des Schreibhebels zu erhalten. Dieselben gehen natürlich von rechts nach links und werden auf die liegende Kymographiontrommel aufgezeichnet.

Den Rhythmus der Oscillationen kann man übrigens in vielen Fällen auch in den resultirenden Bewegungen erkennen, namentlich bei langsamen Bewegungen und Dauer-Contractionen. Hierbei ist natürlich die Methodik noch einfacher, und kann je nach den besonderen zu beobachtenden Bewegungen sehr mannigfaltig gestaltet werden.

Die Möglichkeit der directen Registrirung überhebt uns des schwierigen, von Helmholtz[1] angewandten Verfahrens, die auf den Muskel zu befestigenden Plättchen so lange zu verändern, bis sie durch starkes Mitschwingen die Uebereinstimmung ihrer Eigenschwingung mit dem Rhythmus der Muskelanschwellungen kundgeben.

Langsame Bewegungen und Dauer-Contractionen. In der angegebenen Weise konnte zunächst der physiologische Tetanus untersucht werden. Zu dem Zwecke wurde bei der eben beschriebenen Versuchs-Anordnung die Hand kräftig zur Faust geballt. Ich erhielt so Curven, wie z. B. Fig. 4, deren Periodicität in deutlicher Weise erkennbar ist. In hohem Grade überrascht war ich aber, den Rhythmus, welcher hier auftritt, nicht, wie ich vermuthet hatte $= {}^1/_{18} - {}^1/_{20}$ Secunde, sondern stets sehr bedeutend langsamer zu finden. In der mitgetheilten Curve nehmen 10 Oscillationen etwa 65^{mm} ein, woraus sich ein Rhythmus von 11·8 pro Secunde ergiebt. In zahlreichen ähnlichen Versuchen erhielt ich stets Werthe, welche sich von diesen nur sehr wenig unterscheiden.

Bei langsamen Streckbewegungen der Hand erhielt ich von den Extensoren am Unterarm Oscillationen, deren Rhythmus von 11—12·4 pro Secunde schwankte. Nimmt man ein Gewicht in die Hand und hält den Arm horizontal, so erhält man durch eine Marey'sche Kapsel von dem angestrengten M. deltoideus eine deutlich und ziemlich regelmässig oscillirende

---

[1] Helmholtz, Ueber das Muskelgeräusch. *Monatsberichte der Berliner Akademie.* 1864.



Curve. Eine solche (von Hrn. Bartenstein herrührend) ist in Fig. 5 dargestellt. Der Rhythmus der Oscillation beträgt hier 9·6 in der Secunde.

Fig. 6 zeigt eine langsame Plantarflexion des Fusses; es wurde hier die resultirende Bewegung registrirt, indem die Spitze des Fusses einen starken Gummiballon comprimirte, welcher mit dem Schreibtambour in Verbindung stand. Man erkennt auch hier die Oscillationen sehr deutlich; der Rhythmus derselben beträgt im aufsteigenden Theile, wo sie am regelmässigsten sind, nur 7·7 pro Secunde. Indessen bemerkt man in dem absteigenden Theile, dass die Oscillationen weniger regelmässig sind und stellenweise erheblich dichter stehen; hier kommen Intervalle vor, welche bis $^1/_{16}$ Secunde heruntergehen.

Dass wir in dem Rhythmus der Muskelanschwellungen wirklich den Rhythmus der Innervation erhalten, das wird, wie ich glaube, kaum bezweifelt werden können. Wenigstens wird man vergeblich nach einer anderen Deutung der so auffallenden und regelmässigen Erscheinung suchen. Immerhin wird es nicht überflüssig sein, darauf hinzuweisen, auf wie wenig sicherer Grundlage die gegenwärtig verbreitete Anschauung ruht, dass der Rhythmus der natürlichen Innervation 18—20 betrage. Was zunächst die akustischen Erscheinungen des Muskeltones anlangt, so ist die Complication ihrer Bedingungen und die Schwierigkeit ihrer Deutung hinlänglich oft erörtert worden, und es dürfte daher die Meinung kaum auf Widerspruch stossen, dass die Zahl der Oscillationen aus ihnen nicht ermittelt werden kann. Hiernach bleiben die Beobachtungen von Helmholtz über das Mitschwingen federnder Blättchen. Was nun diese Methode betrifft, so ist sie der direct registrirenden so ähnlich, dass eine Differenz der Resultate zunächst kaum begreiflich erscheint. Nur ist die Beobachtung des Mitschwingens weit schwieriger und unsicherer; das nur an einem Ende befestigte Blättchen geräth bei jeder heftigen stossweisen Bewegung in mehr oder weniger starke Schwingungen, und die Entscheidung ob die Mitschwingungen durch synchrone Anstösse verstärkt werden, ist nichts weniger als leicht. Ich habe bei einer Reihe von Versuchen keine entscheidenden Resultate erhalten können, vielmehr nur die Ueberzeugung gewonnen, dass die Methode so precär ist, dass auch der sorgsamste Experimentator bei ihr wohl einer Täuschung unterliegen kann. In dieser Meinung werde ich bestärkt durch den gewiss auffallenden Umstand, dass in mehr als zwanzig Jahren noch Niemand mitgetheilt hat, dass er die Helmholtz'schen Versuche mit gleichem Erfolge wiederholt habe.

Trotz des Widerspruchs, in dem ich mich hierdurch zu einer fast ganz allgemein recipirten Ansicht setze, glaube ich somit auf Grund vielfacher und mannigfaltig modificirter Versuche behaupten zu müssen, dass der Rhythmus der physiologischen Innervation bei langsamen Bewegungen

und dauernden Zusammenziehungen im Allgemeinen auf 8—12 pro Secunde sich beläuft. Dieses Ergebniss stimmt, was mir besonders erfreulich ist, genau überein mit den Anschauungen, zu welchen auch Horsley und Schäfer[1] mit Benutzung fast genau derselben Methoden gelangt sind. Sie finden den Innervations-Rhythmus bei langsamen Zusammenziehungen des M. opponens pollicis im Durchschnitt = 10 pro Secunde, bei verschiedenen Individuen etwas verschieden, im Minimum 8, im Maximum 13.

Kürzeste Bewegungen. Die Beobachtung der Muskelthätigkeit bei der Ausführung möglichst kurzer Bewegungen zeigt in sehr auffallender Weise, dass unser Wille niemals einzelne sondern stets eine Folge von mehreren Anstössen erteilt. Während die Beugung des Fingers nach $^1/_{13}$ Secunde schon beendet sein kann, dauert die an der Verdickung wahrnehmbare Thätigkeit des beugenden Muskels stets viel länger. Sie lässt zugleich den Rhythmus der Innervation mit besonderer Deutlichkeit erkennen. Bei möglichst kurzen Beugebewegungen des Mittelfingers erhalte ich z. B. Muskelcurven wie Fig. 6 *a* und *b*. Man erkennt, dass jedesmal vier stärker markirte Innervationsanstösse stattgefunden haben; zwischen dem ersten und letzten dieser Gipfel liegt ein Zwischenraum von 15^{mm}, entsprechend nahezu $^1/_5$ Secunde; das Intervall der einzelnen Anstösse ergiebt sich daher hier = $^1/_{15}$ Secunde. Auch hiermit ist die Thätigkeit des Muskels noch nicht völlig zu Ende; vielmehr folgt jedesmal noch eine nicht scharf zu bestimmende Anzahl schwächerer Oscillationen, welche das allmähliche Erlöschen der Thätigkeit anzeigen. Selbst da also, wo wir eine möglichst kurze Bewegung intendiren, und die resultirende Bewegung auch wirklich kürzer ist als die durch einen einfachen Inductionsschlag hervorzurufende Zuckung: selbst da erhält der einzelne Muskel eine Reihe von Innervations-Anstössen, mindestens vier, und geräth in eine weit länger dauernde Thätigkeit. Man kann diese wichtige Thatsache übrigens in der allereinfachsten Weise ohne jedes besondere Hülfsmittel sich zur Anschauung bringen; wenn man einen Finger der linken Hand auf die Volarseite des rechten Unterarms aufsetzt und mässig andrückt, so sieht man bei schnellsten Beugebewegungen der Hand oder eines Fingers sehr deutlich, wie der Finger schnell gehoben wird, aber allmählich zurücksinkt, und wie sein Rückgang das Ende der Handbewegung merklich überdauert.

In dieser Thatsache liegt nun auch der strenge Beweis für die vorher schon aufgestellte Behauptung über das Zustandekommen kürzester Bewegungen durch die successive Thätigkeit antagonistischer Muskeln.

Die ganze Dauer der Muskelthätigkeit ergiebt sich hier zwar nicht

[1] On the Rhythm of muscular response to volitional impulses in man, *Journal of physiology*. 1886. p. 111.



scharf bestimmbar, aber jedenfalls immer mehr als $^1/_8$ Secunde. Nach etwas anderer Methode ist die Dauer einer möglichst kurzen willkürlichen Muskelthätigkeit schon in den oben erwähnten Versuchen von Baxt und Yeo ermittelt worden. Sie ergaben die Dauer „einfacher willkürlicher Bewegungen" bei verschiedenen Untersuchern zu 0·222 bis 0·326 Secunden. Die hierbei benutzte Methode war die folgende: „Um die Contractionsdauer zu bestimmen, drückte der Beobachtete, während eine seiner Hände einen als Stütze dienenden Halter umfasste, mit einem Finger dieser Hand die ohne Mühe biegsame Feder eines in der Elliot'schen Werkstatt trefflich gearbeiteten elektrischen Schlüssels vom oberen (einstellbaren) Contacte ab und auf den unteren fest, um sodann den ruhenden Finger von der Feder zum oberen Contacte zurückheben zu lassen. Der Schlüssel hielt einen Strom geschlossen, welcher nur während der Zeit unterbrochen wurde, wo die Feder vom oberen zum unteren Contacte oder in umgekehrter Richtung bewegt wurde. Ein Baltzar'scher elektromagnetischer Schreibapparat markirte Lösung und Verbindung des Contactes. Demzufolge gab jede Contractionsperiode vier Zeiten: 1) Beginn des Drucks, 2) Moment der definitiven Hemmung, 3) Beendigung des Drucks, 4) Moment, in welchem die Ruhelage wieder erreicht ist. Es würden also die Zeiten 1 bis 3 der Dauer der Zusammenziehung, 3 bis 4 der Erschlaffungszeit entsprechen".

Die Ergebnisse sind mit den meinigen in genügender Uebereinstimmung. Die Bestätigung derselben durch directe Beobachtung des Muskels schien mir jedenfalls nicht überflüssig. Denn die dort gestellte Aufgabe, die Beugebewegung möglichst kurz zu machen, doch aber die Strecker nicht zu innerviren, ist jedenfalls, wenn überhaupt lösbar, recht schwierig, und der Versuch selbst bringt es nicht zur Anschauung, ob sie gelöst worden ist.

Die Beschränkung, welche darin liegt, dass wir keine einfachen Innervations-Anstösse ertheilen können, darf dem Gesagten zufolge mit einer Beschränkung der resultirenden Bewegungen nicht verwechselt werden. Die Möglichkeit sehr kurze Bewegungen auszuführen wird durch die tetanische Natur aller willkürlichen Muskelactionen in keiner Weise behindert; für sie ist vielmehr das Intervall maassgebend, in welchem wir die Action antagonistischer Muskeln können einsetzen lassen. Vom Gesichtspunkte der Zweckmässigkeit erscheint diese Art und Weise, wie wir sehr kurze Bewegungen ausführen, auffallend; man kann es für überflüssig halten, dass die Innervation des Beugers länger dauert als die Beugebewegung des Fingers, und durch die stärkere Gegenwirkung des Streckers überwunden werden muss. Doch wird man dies begreiflicher finden, wenn man sich erinnert, dass jede willkürliche Muskelthätigkeit durch die Thätigkeit des Antagonisten mehr oder

weniger gehemmt und retardirt ist, wie das Brücke[1] ausführlich gezeigt hat. Es geht hieraus schon hervor, dass unsere Willkür-Innervation gar nicht nach dem Princip eingerichtet ist, die intendirten Bewegungen mit einem möglichst geringen Maass von Muskelthätigkeit hervorzubringen.

Rhythmische Bewegungen. Sehr unerwartete Ergebnisse lieferte die Untersuchung der Muskelthätigkeit bei schnellen rhythmischen Bewegungen der Hand oder der Finger. Schon die blosse Thatsache, dass wir solche Bewegungen in den vorhin erwähnten hohen Frequenzen ausführen können, ist, wie ich glaube, theoretisch bedeutungsvoll. Wenn die Dauer-Contractionen, die unser Wille hervorbringt, durch 11—12 Innervationsanstösse pro Secunde bewirkt werden, und wenn anderseits wir auch im Stande sind, 11 Einzelbewegungen in der Secunde auszuführen, wobei doch nothwendig dieser Rhythmus in den Innervationsvorgängen auch vorhanden sein muss: so wird schon gefolgert werden können, dass in beiden Fällen, trotz der übereinstimmenden Periode, die Innervationen doch noch sehr wesentlich verschieden sein müssen. Erwägen wir ausserdem, dass wir auch rhythmische Bewegungen in jeder beliebigen Frequenz, welche kleiner ist als 11 pro Secunde, ohne jede Schwierigkeit ausführen können, so wird allein hieraus schon abgenommen werden können, dass die Periodik der Innervation innerhalb gewisser Grenzen variabel sein muss. In der That versteht es sich von selbst, dass z. B. sieben Bewegungen in der Secunde nur ausgeführt werden können, wenn der Muskel grade sieben Innervationsanstösse pro Secunde erhält oder aber wenn die stärksten Anstösse in diesem Intervall folgen, und zwischen sie noch schwächere in irgend welcher Weise eingeschaltet sind. Wenn aber das Intervall der Anstösse auf $^1/_{11}$—$^1/_{12}$ Secunde fixirt wäre, so könnte jener Effect überhaupt nicht erreicht werden.

Die Curven der Muskelthätigkeit, welche man bei schnellen rhythmischen Bewegungen erhält, zeigen nun zuvörderst, wie sich von selbst versteht, eine mit dem Rhythmus der Bewegungen übereinstimmende Periode, daneben aber lassen sie allemal den weit schnelleren Rhythmus der einzelnen Innervationsanstösse erkennen. In vielen Fällen ist die letztere gerade die doppelte, jede einzelne Welle ist alsdann doppelschlägig; eine Curve dieser Art ist in Fig. 7 mitgetheilt; dieselbe ist von den Unterarmbeugern mittels des oben erwähnten Federapparates geschrieben und entspricht schnellen Beuge- und Streckbewegungen der Hand. Der Hauptrhythmus ist 9·4 pro Secunde; jede Welle zeigt aber zwei Gipfel; während also die stärkeren Innervationsanstösse in dem durch den Willen vorgeschriebenen Intervall 9·4 pro Secunde aufeinanderfolgen, ist zwischen je

[1] Brücke. Ueber willkürliche und krampfhafte Bewegungen. *Sitzungsberichte der Wiener Akademie.* 1877. Bd. LXXV.

zwei solche regelmässig noch ein schwächerer eingeschoben, welcher von dem ihm vorangehenden und nachfolgenden durch ein Intervall von nur $^1/_{19}$ Secunde getrennt ist. Gewöhnlich indessen erhält man andere Bilder, und zwar gerade dann, wenn man die Feder auf die am stärksten in Action tretende Muskelpartie aufsetzt. Diese liefert bei schnellster rhythmischer Bewegung des Mittelfingers oder der ganzen Hand Bilder wie Fig. 9. Hier erkennt man deutlich den Rhythmus der resultirenden Bewegungen, nahezu 9 pro Secunde, daneben aber die oscillatorische Natur jeder einzelnen dieser Contractionen. Von diesen kleinen Oscillationen kommen etwa vier auf jede einzelne Bewegung, und ihr Intervall beträgt im Durchschnitt etwa $^1/_{36}$ Secunde. Oft geht dasselbe noch weiter herunter, und der Abstand zweier Oscillationen kann sich bis auf $^1/_{45}$ Secunde verkleinern. Fig. 10 zeigt eine auf gleiche Weise von Hrn. Bartenstein erhaltene Curve; hier beträgt die Frequenz der Bewegungen wenig über sechs und der Rhythmus der kleinen Oscillationen beläuft sich dementsprechend auf etwa 24 pro Secunde. Sowohl die Beschaffenheit des Registrirapparates als auch die Natur der erhaltenen Curven schliesst eine Täuschung durch Eigenschwingungen völlig aus. Ebenso war Sorge getragen, dass die zur Stütze und Befestigung des Armes dienenden Apparate nicht so beschaffen waren, dass sie hätten in eine schwingende Erschütterung versetzt werden können. Die Ursache der Oscillationen kann daher, soviel ich sehe, nur im Muskel selbst gelegen sein, und wird keine andere Deutung gestatten, als dass die Rhythmik seiner Anschwellungen uns den Rhythmus der ihn treffenden Innervationsanstösse anzeigt. Es scheint mir hiernach keinem Zweifel zu unterliegen, dass bei der erwähnten Art der Bewegungen die dem einzelnen Muskel zuströmenden Innervationsanstösse in einem Intervall aufeinanderfolgen, welches bis $^1/_{40}$ Secunde herunter gehen kann. Gerade wie eine einzelne kürzeste Bewegung nicht durch einen einfachen Reiz hervorgerufen wird, so ist auch bei schnell wiederholten rhythmischen Bewegungen jede einzelne schon eine tetanische, durch mehrere Anstösse bewirkte. Wir werden uns die Vorgänge der Innervation dabei so vorzustellen haben, dass unser Wille über Reizcombinationen verfügt, in welchen die Einzelanstösse sehr schnell folgen und jedesmal einer an Stärke bedeutend überwiegt. Diese zusammengesetzten Reize können wir in einem willkürlich zu bestimmenden Rhythmus, bis zu 11 pro Secunde, aufeinander folgen lassen.

Wenn schon jede Einzelbewegung eine tetanische ist, so versteht es sich von selbst, dass die schnellen rhythmischen Bewegungen im Grunde als unvollkommene Tetani, als eine Reihe theilweise verschmolzener Einzelzuckungen aufzufassen sind. Dies bestätigt in der That die registrirende Methode ebensowohl wie die einfache Palpation des Muskels. Bei der Ausführung

schnell wiederholter Bewegungen mit einem Finger oder mit der Hand sieht oder fühlt man die Muskeln erheblich anschwellen und im Zustande einer starken Verdickung verharren, solange die rhythmischen Bewegungen fortgesetzt werden. Bei schnellster Rhythmik ist das schon für den palpirenden Finger sehr deutlich; die Registrirmethoden zeigen, dass schon bei drei bis vier Bewegungen pro Secunde der Muskel nicht mehr vollständig erschlafft, wie dies nach der Untersuchung der Muskelthätigkeit bei einer einzelnen möglichst kurzen Bewegung auch zu erwarten war.

Es kann auffallend erscheinen, dass intermittirende Reize von der Frequenz 40 pro Secunde sich überhaupt noch durch eine Oscillation in der Muskelcurve anzeigen. Indessen besteht in Bezug auf die Frage, bei welcher Reizfrequenz die Oscillationen aufhören, noch eine erhebliche Unsicherheit. Kronecker und Stirling[1] gelangten zu Resultaten, welche von denen Ranvier's wenigstens scheinbar sehr erheblich abwichen. Es kann aber die Frage aufgeworfen werden, ob es nicht lediglich von der Feinheit der angewandten Beobachtungsmethode abhängt, bei welcher Frequenz die Discontinuität des tetanischen Zustandes unmerklich wird. Zeigt doch im Grunde der Muskelton an, dass mechanische Veränderungen, welche mit der Reizperiode übereinstimmen, selbst bei Frequenzen von mehreren Hundert pro Secunde noch stattfinden. Kronecker hat wiederholt darauf hingewiesen[2], dass in dieser Hinsicht die Beobachtung der Verdickungen möglicherweise ganz andere Resultate liefern möge, als die der Längenveränderungen. Dass man bei 30 Reizen pro Secunde vom M. biceps noch deutliche Oscillationen der Verdickung von der entsprechenden Periode erhält, ist ohne besondere Schwierigkeit zu constatiren. Am Kaninchenmuskel fand Kronecker die Verkürzung schon bei 20 Reizen pro Secunde nicht mehr oscillirend. Es steht hiermit in Einklang, dass auch bei den hier beschriebenen Versuchen die an den Verdickungscurven wahrnehmbaren schnellen Oscillationen in den von den Verkürzungen abhängenden resultirenden Bewegungen nicht zur Erscheinung kommen.

Die mitgetheilten Untersuchungen liefern einen zwingenden Beweis zunächst für die schon wiederholt ausgesprochene Annahme der tetanischen Natur aller willkürlichen Bewegungen; unser Wille arbeitet nie mit Einzelreizen, sondern stets mit Reizfolgen, selbst bei kürzesten Bewegungen wohl kaum jemals mit weniger als vier Reizen. Nicht in den resultirenden Bewegungen, wohl aber in der Thätigkeit der einzelnen Muskeln kommt dies zum Ausdruck. Der Rhythmus der physiologischen Innervation ist innerhalb sehr

---

[1] Kronecker und Stirling, Die Genesis des Tetanus. *Dies Archiv.* 1878.

[2] A. a. O. S. 18; — ferner Kronecker und Hall, Die willkürliche Muskelaction. *Dies Archiv.* 1879. Supplementband S. 16.

weiter Grenzen variabel, und schwankt von 8—40 pro Secunde. Bemerkenswerth erscheint hierbei, dass die höchsten Frequenzen nicht stattfinden, wenn es sich um die Entwickelung möglichst grosser Kraft, sondern wenn es sich um eine möglichst grosse Beweglichkeit handelt. Die stärksten Anstrengungen werden mit niedriger Reizfrequenz, 10—12 pro Secunde, bewirkt.

Es steht hiermit jedenfalls in sehr gutem Einklange, dass Horsley und Schäfer auch bei elektrischer Reizung verschiedener Theile des Centralnervensystems die Extremitätenmuskeln in eine Thätigkeit gerathen sahen, welche meist Oscillationen im Rhythmus von etwa 10 pro Secunde erkennen liess, unabhängig von der Frequenz der elektrischen Reize.

Abgesehen von dieser Feststellung des Innervationsrhythmus liegt, wie mir scheint, nunmehr auch genügendes Material vor, um über Brücke's Hypothese der pelotonfeuerartigen Entladungen ein bestimmtes Urtheil zu gewinnen. Und ich glaube, dass dasselbe nicht anders als ablehnend ausfallen kann. Wenn die einzelnen Fasern eines Muskels ihre Innervationsanstösse nicht gleichzeitig erhielten, so würde zu erwarten sein, dass weder rhythmische Anschwellungen des Muskels noch negative Schwankungen des Längsquerschnittstromes sich beobachten liessen. Beide Erscheinungen setzen zweifellos das Zusammenwirken sehr vieler Muskelfasern mit übereinstimmender Phase voraus. Die Veranlassung zur Aufstellung der Hypothese lag ja auch in dem Ausbleiben des secundären Tetanus. Seitdem man aber aus den Versuchen Loven's weiss, dass sehr deutliche negative Schwankungen im Capillar-Elektrometer zu beobachten sind, muss man jene Hypothese fallen lassen, um so mehr, wenn nun auch die mechanischen Erscheinungen solche sind, dass sie nur bei Salvenform der Entladungen sich erklären lassen. Hierin liegt auch nicht die mindeste Schwierigkeit, nachdem gezeigt worden ist, dass es Zeitreize giebt, welche zwar sehr deutliche negative Schwankungen des Muskelstroms ergeben, aber in Bezug auf die Erzeugung secundärer Zuckungen sehr weit hinter den Momentanreizen zurückbleiben [2]. Die Auffassung der physiologischen Innervation als Zeitreize erklärt das Ausbleiben des secundären Tetanus vollkommen; und es lassen sich also alle bekannten Erscheinungen ohne die Annahme der ungleichzeitigen Entladungen durchaus befriedigend verstehen.

Noch eine andere Frage drängt sich hier auf. Die Annahme, dass

---

[1] Horsley und Schäfer, Experiments on the Character of the muscular contractions which are evoked by excitations of the various parts of the motor tract. *Journal of physiology*. 1886. p. 96.

[2] v. Kries, Ueber die Abhängigkeit der Erregungsvorgänge von dem zeitlichen Verlauf der zur Reizung dienenden Elektricitätsbewegung. *Dies Archiv*. 1884.



die physiologischen Reize nicht „Momentanreize“, sondern „Zeitreize“ sind, wird dadurch noch begünstigt werden, dass auch der Säugethiermuskel durch zehn derartige Reize pro Secunde (und zwar sowohl starke als schwache) in eine sehr nahe stetige Zusammenziehung gebracht werden kann. Es erhebt sich aber dann die Frage, ob nicht bei den hohen Reizfrequenzen auch der Einzelreiz ein anderer, kürzerer ist, als bei den geringeren. Es würde hiernach nicht bloss das Intervall der Reize, sondern auch die Beschaffenheit des Einzelreizes je nach den intendirten Bewegungseffecten variirbar sein. In der That wird man sich dieser Vermuthung kaum entziehen können, wenn man sieht, wie bedeutend der Muskel seinen Thätigkeitszustand zehnmal pro Secunde ändern kann, sobald dies die Absicht der Bewegung ist, und wie gering andererseits die Oscillationen sind, welche durch zehn Reize pro Secunde bewirkt werden, sobald eine langsame Bewegung oder Dauercontraction ausgeführt wird.

Erklärung der Tafel.

Alle Figuren sind von links nach rechts zu lesen. 1 Secunde entspricht, wenn nichts anderes angegeben, 75—77 mm. Der Buchstabe *K* bedeutet, dass der Versuch von mir, *B* dass er von Hrn. Bartenstein herrührt.

Fig. 1. *a* und *b*. Möglichst kurze willkürliche Beugebewegungen des Mittelfingers. Der Schreibstift am Finger selbst befestigt. *K*.

Fig. 2. *a* und *b*. Beugebewegungen des Mittelfingers durch einen Inductionsschlag ausgelöst. Dieselbe Art der Aufzeichnung. *K*.

Fig. 3. Möglichst schnell wiederholte Anschlagsbewegungen der Hand, elektromagnetisch registrirt; die darunter geschriebene Stimmgabelcurve markirt $^1/_{43}$ Secunde *K*.

Fig. 4. Oscillatorische Curve einer angestrengten physiologischen Dauercontraction; durch Application der Feder an der Volarseite des Unterarms erhalten. *K*.

Fig. 5. Oscillatorische Curve des M. deltoideus, während der Arm horizontal gehalten ist und die Hand 5 Kilogramm trägt. Marey'sche Kapsel. *B*.

Fig. 6. Oscillatorische Curve einer langsamen Plantarflexion des Fusses. Der Fuss comprimirt einen Gummiballon, der mit dem Schreibtambour in Verbindung gesetzt ist. 50 mm = 1 Secunde.

Fig. 7. *a* und *b*. Thätigkeit der Beugemuskeln bei möglichst kurzen Anschlagsbewegungen des Mittelfingers.

Figg. 8 und 9. Thätigkeit der Beugemusculatur bei schnellen rhythmischen Beugebewegungen des Mittelfingers. *K*.

Fig. 10. Dasselbe. *B*. 72 mm = 1 Secunde.

Ueber Hefe-Einspritzung.

Von

Kreisphysikus Prof. Dr. Friedr. Falk
in Berlin.

In früheren Veröffentlichungen habe ich darzulegen mich bemüht, welche Veränderungen bekannte Fermente, ungeformte oder organisirte, indifferente oder pathogene erleiden können, wenn sie, in die Verdauungs-Organe eingeführt, den Digestions-Säften, bez. den in den ersten Wegen wirksamen Verdauungs-Fermenten ausgesetzt sind.[1] Ich bin nun daran gegangen, die Schicksale der nämlichen Fermente nach Einbringung in das Gefässsystem, innerhalb der sogenannten „zweiten Wege", zu verfolgen, und zwar habe ich mit der Hefe begonnen; haben wir es doch in ihr gleichzeitig mit zwei verschiedenartigen, in ihrem chemischen und biologischen Verhalten vielfach studirten Fermenten, dem alkoholischen und dem Invertin zu thun, die, wie ich früher beobachtet habe, von den Verdauungs-Säften in verschiedener Weise beeinflusst werden. Das Schicksal der Hefe in der Blutbahn kennen zu lernen, schien auch darum von einiger Bedeutung, weil solche Beobachtungen an einem biologisch genauer bekannten Sprosspilz auch einiges Licht auf die für die Pathologie bedeutungsvollen, aber zur Zeit noch nicht ganz klargelegten Lebensvorgänge von Spaltpilzen werfen könnten; sehen wir doch, dass von anderer Seite,[2] um den Einfluss des Bodens, speciell der Boden-Feuchtigkeit auf die Entwickelung und Ausbreitung von Epidemien experimentell zu ergründen, die Bedeutung dieses Factors gerade an der Wirkungskraft des alkoholischen Hefe-Fermentes erforscht worden ist, und, wenn der Werth von Desinfectionsmitteln chemischer

[1] Virchow's *Archiv*. Bd. LXXXIV und Bd. XCIII; — *Dies Archiv*, 1883. S. 187.

[2] Soyka, *Tageblatt der Strassburger Naturforscher-Versammlung*. 1885. S. 341.

oder physikalischer Art sicher gestellt werden soll, so wird gewöhnlich auch der Effect des Mittels auf den relativ grossen Organismus der Hefe geprüft. Noch eine ganz praktische hygienische Frage kann in unsere Untersuchungsreihe hineinreichen; hat man doch die vermeintlich schädlichen Folgen des Genusses von Hefe- „trübem" Bier nicht bloss auf dessen örtliche Wirkung innerhalb des Darmcanals begrenzt, sondern gleichzeitig auch, gestützt auf gewisse bald zu erwähnende Versuche (Popoff's), mit einer Art von Gift-Entfaltung innerhalb des Gefäss-Systems in Beziehung bringen zu können geglaubt.[1]

Es galt demnach, zu erforschen, ob die gewöhnliche Hefe, Saccharomyces cerevisiae, nach Einbringung in's Blut ihre specifischen Fermentkräfte innerhalb der Gefässbahn behält, sie darin deutlich erkennen lässt, oder ob sie dieselben einbüsst oder ob sie etwa statt dessen, wenn mit gährungsfähigem Material zusammengebracht oder gar allein, ihr ausserhalb des Organismus nicht zukommende Wirkungen wahrnehmen lässt. Von vorn herein war zwar kein Grund abzusehen, warum sie innerhalb des Blutes auf Zucker nicht in bekannter Weise wie ausserhalb des thierischen Organismus wirken solle, denn Temperatur und Reaction des Säugethier-Blutes können nichts weniger denn als hinderlich gelten; sehen wir doch an anderen pflanzlichen ungeformten Fermenten, z. B. dem Emulsin, dass es, in's Blut eingespritzt, hier seine specifische Fermentwirkung auf Amygdalin noch deutlich entfalten kann. Dennoch stellt sich dies in Betracht der Hefe nicht so ganz einfach dar, schon angesichts der widersprechenden Angaben in der Litteratur.

Grohé knüpft an seine viel citirten, inzwischen zum Theil, namentlich von R. Koch, bestätigten Mittheilungen über die deletären Folgen der Einbringung von Schimmelpilzen in die Blutbahn folgende Bemerkung kurz an:[2]

„Injectionen von Hefe in's Blut und in das Peritoneum wirken noch viel gewaltthätiger und rascher tödtlich, als die Einspritzung von Schimmelpilzen." Man muss demnach vermuthen, dass Grohé dort, ähnlich wie hier, eine Mykosis mit für das thierische Gewebe destructivem Charakter sich hat entwickeln sehen. Er führt dann aber nur chemische Wirkungen an: „das Blut, namentlich aber der Inhalt des Coecums zeigte exquisit saure Reaction und in letzterem fand sich stets eine starke Gasentwickelung vor."[3] Grohé

---

[1] *III. und IV. Jahresbericht des hygienischen Institutes der Ludwig-Maximilians-Universität München für das Jahr 1882—1883.*

[2] *Berliner klinische Wochenschrift.* 1870. S. 5.

[3] Schliesslich bemerkt er noch: „ausserdem zeigten die Thiere, bei denen Hefe in's Blut injicirt worden war, eine länger dauernde Widerstandsfähigkeit gegen die Fäulniss. Es dürfte sich der Mühe lohnen, diese Versuche zur Conservirung von menschlichen Leichen in den anatomischen Anstalten weiter zu verfolgen."



hat anscheinend bloss an Nagern experimentirt. Nur über Versuche an Hunden, denen er Hefe in's Blut eingespritzt hat, berichtet Popoff.[1] Letzterer hat nach der Application „keine Knötchen wie Grohé gefunden," überhaupt hat er nie Entwickelung von Mycelium aus Hefe nach ihrer Einführung in den thierischen Organismus gesehen, doch glaubt er, eine solche Entwickelung nicht ganz in Abrede stellen zu sollen, nur „sei sie wohl sehr selten". Er hätte sich wohl an die von ihm selbst als Anschauung von de Bary und Rees angeführte Thatsache halten können, dass den Bierhefe-Organismen die Fähigkeit überhaupt fehlt, Mycelium aus sich zu entwickeln (im Gegensatz zu anderen zwar auch Alkohol bildenden, anscheinend missbräuchlich ebenfalls als Saccharomyces benannten, bei der Bier- und Brotbereitung nicht verwandten, pathogenen Pilzen.[2] Damit war aber nicht ausgeschlossen, dass die Hefe eine Auskeimung durch Sprossung an und in den Körpersäften und Geweben lebender Säugethiere erkennen lasse, wie solches der Hefe morphologisch ähnliche Pilze am Organismus niederer Thiere zum Schaden des Wirths vermögen. Während Popoff also mechanisch obstruirende und so zur thierischen Gewebs-Nekrose führende Wirkungen der Hefe-Injectionen vermisste, auch die Fähigkeit eines Wachsens der Hefe innerhalb des lebenden Thier-Organismus durch Knospung oder auch intercellulare Theilung für eine „mindestens ziemlich beschränkte" erachtete, fand er die Injection dennoch schädlich, oft sogar tödtlich, indem er ein klinisches und namentlich auch anatomisches Krankheitsbild entstehen sah, welches er selbst als ganz ähnlich dem septischen bezeichnet, ich selbst aber einfach als das der Sepsis charakterisiren möchte. Auffällig muss dies aber erscheinen, da von einer ähnlichen zersetzenden Wirkung von Hefe ausserhalb des Organismus nichts bekannt ist; andererseits wäre vielleicht an die Möglichkeit einer eigenthümlichen Selbstgährung der Hefe im Organismus zu denken gewesen.

Cl. Bernard scheint nun eine schädliche Wirkung blosser Hefe-Injectionen in's Blut nicht beobachtet zu haben, wenigstens will er solche Consequenzen wiederholentlich[3] nur nach gleichzeitiger Einbringung von Hefe und von Zucker in den thierischen Organismus wahrgenommen haben; freilich erinnern seine Angaben über die Krankheitsbefunde der Thiere ausserordentlich an diejenigen Popoff's nach blosser Hefe-Injection. Die Bernard'schen Angaben lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen: Injicirt man Hefewasser in eine Halsvene und Rohrzuckerlösung unter die Haut oder in die Peritonealhöhle oder in die Gefässbahn von Hunden und Kaninchen, so erkranken die Thiere tödtlich unter Symptomen „plus au

---

[1] *Berliner klinische Wochenschrift.* 1872. S. 513.

[2] Plaut *Beiträge zur systematischen Stellung der Pilze.* Leipzig 1885.

[3] *Archives générales de médecine.* 1848; — *Leçons de physiologie expérimentale.* 1855. t. I. p. 246.

moins analogues aux accidents typhiques", und an der Leiche zeigen sich dann: „tous les caractères anatomiques d'une maladie infectieuse."[1] Ich würde aber auch hier nach der klinisch-anatomischen Schilderung kurzweg von einer acuten oder subacuten Septicaemie sprechen.

Gibier, der diese Bernard'sche Angaben gelegentlich (ohne Litteratur-Angabe) hervorholt,[2] weist auf ihre Bedeutung für die Diabetes-Lehre hin; interesssanter noch könnten sie wohl für die allgemeine Pathologie erscheinen, indem sie darzuthun vermöchten, wie ein an sich indifferenter Mikroorganismus beim Vorhandensein einer bestimmten Blutmischung zum gefährlichen Krankheitsstoffe werden kann. —

Meine nun anzuführenden Experimente habe ich in der chemischen Abtheilung des hiesigen physiologischen Institutes, vom freundlichsten Rathe ihres Vorstehers Hrn. Dr. Kossel unterstützt, vorgenommen.

Ich habe frische, reine Bierhefe (Saccharomyces cerevisiae) verwandt, welche ich in vorher aufgekocht gewesenem destillirten Wasser aufschwemmte. Ich habe diese Flüssigkeit, deren Gährung erzeugende Kraft ausserhalb des Körpers ich erprobte, zunächst ohne weiteres, sei es subcutan, sei es intraperitoneal oder intrapleural, oder, vor allem, in die Vena jugularis injicirt. Diese Einspritzungen fand ich bei Kaninchen und bei Hunden weder local erheblich reizend (Popoff's Injectionen mit Hefe-Flüssigkeit in die Pleurahöhle oder unter die Haut hatten örtlich stark phlogogen gewirkt), noch überhaupt für das Wohlbefinden oder gar das Leben der Thiere bedrohlich. Die Procedur wurde gewöhnlich ganz gut vertragen; allerdings kam es bei einigen kleinen Kaninchen nach Injection in die Halsvene zu schnell tödtlichem Ausgange, indessen war dies höchstens im Anfange bei geringerer Uebung, mangelhafter Assistenz u. dgl. der Fall und es wiesen schon die intravitalen Erscheinungen darauf hin, dass man es einfach mit einer mechanischen Capillarembolie zu thun hatte, eine Möglichkeit, die auch Popoff anführt, aber nur, um sie zurückzuweisen. Auch bei meinen Versuchen war die Möglichkeit jener Embolie-Form durchaus nicht ausgeschlossen, denn ausserdem, dass Hefe-Flüssigkeit an sich keine Lösung, sondern eine Suspension darstellt, enthielt sie auch, bei sonstiger Reinheit, von der technischen Hefebehandlung her Stärkekörner. Von diesen als Versuchsfehler zu bezeichnenden Vorkommnissen abgesehen, trat eben keine üble Folge ein; weder nahm ich irgend eine Andeutung von Auskeimen der Hefe in Blut oder Geweben wahr, noch beobachtete ich Symptome einer chemischen Blutvergiftung, weder Mykose noch Intoxication. Ich kann mir namentlich Popoff's entgegen-

[1] Auch Popoff hatte die Aehnlichkeit des Krankheitsbildes seiner Thiere mit dem des Typhus abdominalis erwähnt.

[2] *Recherches expérimentales sur la rage.* Thèse. Paris 1884. S. 35.



stehende Wahrnehmungen, wie angedeutet, nur damit erklären, dass ihm eine Reinhaltung des Injections-Materials von fremdartigen Keimen, Fäulniss-Organismen u. dgl., nicht geglückt war, beginnende, wenn auch nicht gerade deutlich sinnenfällige Zersetzung der Hefe-Flüssigkeit bereits vorlag. Die Art der Gewinnung, Behandlung und Aufbewahrung seines Einspritzungs-Materials war für Verunreinigung durch Fäulnisskeime nicht ungeeignet, und thatsächlich enthielt die zu seinen Injectionen dienende „gepresste Hefe“ u. a. „moleculare Bewegung aufweisende Körnchen und feinen Bakterien ähnliche Stäbchen“. Gerade die die Analogie mit Ileo-Typhus provocirende Darm-Alteration darf auch auf die septischen Gifte hinweisen.

Ich injicirte nun in die Vena jugularis die Hefe-Füssigkeit und subcutan, oder, viel häufiger, in die Bauchhöhle oder in die Vena jugularis der anderen Seite eine Lösung von Rohrzucker; in anderen Versuchsreihen wurde Hefe und Rohrzuckerlösung zusammen in eine Halsvene eingespritzt. (Von beiden Versuchsarten will Cl. Bernard jene eigenthümlichen Folgen gesehen haben.) Die nämlichen Mengen der beiden Flüssigkeiten, ausserhalb des Thierorganismus zusammengebracht, zeigten ausgiebigste Vergährung. Um nun zu sehen, ob die Hefe innerhalb des lebenden Thierkörpers ihre specifischen Fähigkeiten der Inversion und der weiteren Spaltung des Zuckers bewahrt, untersuchte ich den Urin der Thiere.

Cl. Bernard erwähnt in seinen Arbeiten über den Diabetes, dass, wenn man Rohrzucker an Thiere verfüttert, derselbe in Traubenzucker verwandelt, dann weiter gespalten wird und sich hernach weder Rohr- noch Traubenzucker im Urin nachweisen lasse. Anders wenn man Rohrzucker nicht in die Verdauungswege, sondern indirect von Haut oder serösen Höhlen her oder unmittelbar in die Blutbahn bringt; er wird dann als Rohrzucker mit dem Harn ausgeschieden.

Zum Nachweis des Rohrzuckers diente Cl. Bernard folgendes Verfahren: der Urin reducirt nicht unmittelbar, setzt man aber einige Tropfen Schwefelsäure hinzu, erhitzt und neutralisirt die Flüssigkeit mit Natr. carbon., so findet deutliche Zucker-Reaction statt.

Ich überzeugte mich nun mit dieser Methode zunächst, dass man nach Injection von blosser Rohrzuckerlösung in die Bauchhöhle oder auch in die Vene selbst den Rohrzucker in angegebener Weise im Urin nachweisen kann, aber: erstens ist die Intensität dieser Rohrzucker-Ausscheidung zu verschiedenen Zeiten, sogar beim nämlichen Thier eine verschiedene; sodann sind mir auch Fälle begegnet, wo jene Urin-Untersuchung zu keinem Ergebniss führte, keinerlei unzweideutige Zucker-Reaction auftrat. Deshalb können meine Versuche mit Injection von Hefe und von Rohrzuckerlösung nur eine bedingte Entscheidung liefern: ich vermisste nämlich in diesem

Falle ausnahmslos irgend eine Zuckerart im Urin: es ist nur nothwendig, dass das Hefen-Wasser nicht zu verdünnt angewendet und die Einspritzung der Hefe und die des Rohrzuckers, wie noch erwähnt werden wird, nahe an einander gerückt sind. Dass, auch wenn Hefe und Traubenzucker-Lösung zur Injection kamen, der Urin zuckerfrei befunden wurde, sei der Vollständigkeit halber ausdrücklich erwähnt.

Dadurch war die Erhaltung der Fermentkraft der Hefe im lebenden Thierkörper wahrscheinlich, sicher aber war, dass für gewöhnlich die Thiere, Kaninchen und Hunde, gar keine schweren Folgen nach diesen Einspritzungen zeigten, wie man solche doch hätte nach Cl. Bernard's Angaben erwarten können. Allerdings waren einige Ausnahmefälle zu verzeichnen: einige kleinere Kaninchen gingen bald, nachdem in die eine Vena jugularis Hefe, in die andere Rohrzucker-Lösung injicirt worden, zu Grunde, doch war die Ursache nicht so weit zu suchen. Cl. Bernard glaubte, annehmen zu dürfen, dass innerhalb des Thierkörpers Hefe aus Zucker andere, verfänglichere Substanzen spalte als ausserhalb des Organismus (er deutet kurz auf die Möglichkeit von Milchsäure-Entwickelung hin.) Wir sehen doch auch, dass ohne Mitwirkung von Hefe aus dem Zucker im Organismus der Diabetiker allem Anschein nach deletäre Substanzen sich entwickeln können, die als Spaltungsproducte von Zucker ausserhalb des menschlichen Körpers bisher nicht erkannt worden sind.

Indessen braucht man doch nur auf die gewöhnlichen unter Hefeeinwirkung sich abspaltenden Körper zu blicken; wirkt die Hefe innerhalb des Organismus, so können sich doch für kleine Thiere nicht ganz unbedenkliche Mengen Alkohol entwickeln (schon wenn z. B. 5 ccm einer Lösung von 4 grm Rohrzucker in 5 ccm Wasser eingespritzt werden;[1] man denke auch an die gleichzeitig in den Körpersäften sich entwickelnde Kohlensäure und einige Nebenproducte, so dass, wenn deren weitere Umsetzung oder Ausscheidung bei den kleinen, durch die Operation zunächst etwas angegriffenen Thieren mit der Abspaltung aus dem Zucker nicht Schritt hält, auf diesem Wege Intoxication erfolgen kann. Nie aber habe ich, auch wenn die Wirkung auf den Zucker im Körper mit Sicherheit anzunehmen war, eine Andeutung von Auskeimen der Hefe im Organismus wahrgenommen.

Ich ging nun daran, die Wirkung der Hefe an Thieren zu prüfen, denen Zucker nicht injicirt wurde, sondern bei denen er sich gleichsam von innen heraus entwickelte, d. h. an diabetischen. Freilich Thiere mit anhaltender Glykosurie, wie sie Gibier für diese Versuche zu verwenden vorschlägt, standen mir nicht zu Gebote, einfach weil ein spontaner chronischer Diabetes mellitus bei Thieren kaum oder höchst selten, bei Pferden, vor-

[1] Im Urine dieser Thiere war die Prüfung auf Alkohol ergebnisslos.



kommt. Ich musste daher artificiellen Diabetes hervorrufen. Ich wählte daher einige der Methoden experimenteller Glykosurie, an denen u. a. Eckhard jun. die therapeutische Wirkung des Chloralhydrates zu erweisen sich bemüht hat,[1] Eingriffe, die nicht etwa bloss das Auftreten von reducirenden Substanzen im Harn zur Folge haben. Zunächst kommen zwei Arten von traumatischem Diabetes in Frage, die Piqûre und die Elektrisirung der centralen Enden der Vagi am Halse, welche letztere Procedur an Hunden Cl. Bernard[2], an Kaninchen Eckard sen.[3] geeignet fand, Zuckerharn hervorzurufen.

Ich bemerke vorweg, dass ich die Hefe-Injection den beiden Operationen nie folgen, sondern vorangehen liess: es handelt sich doch immer nur um kurz währende Glykosurie und, wenn ich erst nach deren Auftreten die Hefe injicirte und dann etwa der Zucker (vorausgesetzt, dass das Thier lebend blieb) aus dem Urin schwand, so war nicht ausgeschlossen, dass dies Schwinden einen spontanen, von der Hefe-Injection unabhängigen Vorgang darstellte. Dazu kam, dass jene beiden Methoden artificieller Glykosurie als sehr eingreifende, für gewöhnlich letale Eingriffe wirken und bei der Depression der Thiere und Herabsetzung ihrer Herz-Energie eine gehörige Circulation der Hefe ausgeschlossen, Embolien begünstigt sind. Anschaulicher musste sich das Versuchs-Ergebniss gestalten, wenn nach Hefe-Injection jene beiden bewährten Methoden ihren sonstigen Erfolg des Zuckerharns vermissen liessen.

Es hatte Hr. Dr. Gad die grosse Freundlichkeit, mit kunstgeübter Hand an einer Anzahl von Kaninchen den hernach immer durch die Section controlirten Bernard'schen Zuckerstrich erfolgreich vorzunehmen. Es wurde dann auch bei Thieren, denen zuvor Hefe in die Jugularvene eingespritzt worden, die Piqûre vorgenommen. Neben einer Anzahl namentlich durch zu frühen Tod der Thiere missglückter Versuche ragen freilich nur zwei gelungene hervor; bei diesen war, obwohl die Section ergab, dass die richtige Hirnstelle getroffen worden, bis zum Tode keine Melliturie vorhanden. Von dem einen dieser beiden Experimente will ich noch hervorheben, dass das Thier den Versuch um mehrere Tage überlebte und doch keine der von Cl. Bernard nach Injection von Hefe und Zuckerlösung beschriebenen Erscheinungen zeigte, lediglich in Folge der Hirn-Laesion zu Grunde ging.

Immerhin freilich musste ich bedenken, wie doch auch Eckhard sen. betont, dass „selbst bei bester Uebung die Piqûre dann und wann am sonst unverletzten Thiere versagen kann", und so ging ich nun, von Hrn. Dr. Gad bereitwilligst unterstützt, an die Elektrisirung der Vagi am Halse, indem

[1] *Archiv für experimentelle Pathologie.* 1881.
[2] *Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux.*
[3] *Beiträge zur Physiologie.* 1879. Bd. VIII. S. 45.

ich genau nach Art des von Eckhard beschriebenen Versuchs verfuhr, d. h. $^{3}/_{4}$ Stunden hindurch in Zeiträumen von fünf zu fünf Minuten jedesmal $1\,^{1}/_{2}$ Minuten anwährend reizte. Ich constatirte zunächst, dass nach einseitiger Vagus-Reizung der Diabetes inconstant ist: ich musste also beide Vagi durchschneiden, eine ohnehin schon den Thieren verhängnissvolle Operation; geschah sie, nachdem noch intravenös Hefe injicirt worden, so misslang der Versuch mehrmals durch zu frühen Tod, andrerseits war bei der Depression der Thiere kein Urin mehr zu gewinnen (vor dieser Operation wie vor der Piqûre war immer Urin herausgedrückt worden.) Auch hier kann ich nun bloss zwei durchschlagende Versuche aufweisen: in diesen blieb trotz Vagus-Elektrisirung, bei nicht ganz unbeträchtlicher Harnmenge, bis zum Tode der Zucker aus.

Danach ging ich an den toxischen oder arzneilichen Diabetes: zu Versuchen an Kaninchen wählte ich das Amylnitrit. A. Hoffmann,[1] Eulenburg und Guttmann, Sebold[2] haben dessen Polyurie mit Melliturie erzeugende Wirkung erwiesen. Nachdem auch ich nun das Auftreten von Diabetes nach subcutaner Application geeigneter Dosen von Amilnitrit constant beobachtete, mochte ich, als für die Fermentwirkung der Hefe in den Körpersäften beweiskräftige Versuche, vornehmlich solche gelten lassen, in denen sich im selben Thiere der Erfolg der Application je nach vorgängiger Hefe-Einspritzung oder ohne dieselbe verschieden gestaltete.

Zunächst freilich gewahrte ich, dass ausserhalb des Thierkörpers bei Zusatz von Amylnitrit die Fermentkraft der Hefe ausbleibt; andrerseits aber genügen zur Hervorrufung von Diabetes nur geringfügige Mengen des Salpetrigsäure-Amylaethers und so kam es denn, dass wenigstens einige Male folgendes Experiment glückte: ich bewirkte an einem Thiere durch subcutane Amylnitrit-Einspritzung Diabetes; nach Verschwinden des Harnzuckers und voller Wiederherstellung des Thiers wiederholte ich die Injection von Amylnitrit und machte bald danach eine intravenöse Einspritzung von Hefe und die Melliturie blieb aus; nach abermaliger Erholung wurde zum dritten Male Amylnitrit, aber nichts weiter applicirt und — Glykosurie war zu constatiren. Zu erwähnen ist noch, dass das zweite Mal, d. h. nach der Hefe-Injection nicht bloss der Zucker im Harn, sondern auch die Polyurie, wenn auch letztere nicht so prägnant, vermisst wurde.

Um auch einen toxischen Diabetes bei Hunden heranzuziehen, verwandte ich die Orthonitrophenylpropiolsäure. Es hat von diesem Körper G. Hoppe-Seyler nachgewiesen, dass er bei Hunden (nicht Kaninchen) Diabetes hervorruft.[3] Da diese Angaben bisher anscheinend noch nicht von anderer

---

[3] *Zeitschrift für physiologische Chemie.* Bd. VII. und Berliner Doctor-Dissertation vom 12. März 1883.



Seite geprüft sind, so bemerke ich bestätigend, dass Injection der Substanz in der von Hoppe-Seyler angegebenen Form und Dosis (1 bis 2 grm als Natriumsalz) gewöhnlich im Stande ist, Zuckerharn nach sich zu ziehen, nur fand ich manchmal die Reaction sehr schwach und auch ungleich, wenn die Injection der Säure in angemessenen Zwischenräumen beim nämlichen Thier einmal wiederholt werden konnte (s. u.). Zuvörderst informirte ich mich nun über den Einfluss der Orthonitrophenylpropiolsäure auf die Zuckergährung durch Hefe ausserhalb des Thierkörpers: ich gewahrte, dass Inversion und Alkohol-Bildung dadurch nur verlangsamt, nicht aufgehoben werden. So konnte ich z. B. in einigen Malen, wo ich auf die erste Verabreichung der Substanz die Injection von Hefe in die Vene folgen liess, den Diabetes ausbleiben sehn. Wenn ich dann einem Hunde die Substanz per os beibrachte, in Folge dessen Zucker im Harn constatiren konnte, nach Verschwinden desselben und Erholung des Thieres von neuem die Substanz einführte, nun aber eine intravenöse Hefe-Einspritzung folgen liess, so blieb einige Male die Glykosurie aus, ohne dass übrigens der Eiweissharn zu fehlen brauchte. In anderen Fällen war die das erste Mal recht charakteristisch gewesene Zucker-Reaction nunmehr schwach, doch konnte ich auf letzteres Ergebniss nach dem vorher erwähnten kein Gewicht legen. Am selben Thier nun noch einen dritten Versuch, diesmal wieder mit blosser Injection von Orthonitrophenylpropiolsäure zu machen, versprach keinen für uns verwerthbaren Erfolg, da schon eine einmalige Wiederholung der Injection schlecht vertragen wurde, lediglich als Wirkung der Substanz mit oder ohne Schwinden der Melliturie schweres Kränkeln eintrat. Ich erwähne noch, dass auch in den Fällen, wo sich die Hefe-Injection in angegebener Art gegen den artificiellen Diabetes von Erfolg zeigte, ein Auskeimen des Pilzes innerhalb des Thier-Organismus nicht entdeckt werden konnte.

Jedenfalls erscheint nun genügend festgestellt, dass die Fermentwirkungen der Hefe auf Zucker innerhalb des Thierkörpers ohne Schaden für letzteren vor sich gehen können. Ausserdem vermochte ich mich aber durch entsprechende Versuchsgestaltung auch davon zu überführen, dass diese Fermentkraft der Hefe verhältnissmässig bald erlischt, was mit dem Fehlen des Auswachsens der Hefe im Körper in Verbindung steht. Wenn Einspritzung von Hefe und von Rohrzucker zeitlich nicht nahe aneinander gerückt sind, so bleiben, wie bereits angedeutet, Inversion und Spaltung aus; dem entsprechendes konnte ich bei den Experimenten mit künstlichem Diabetes wahrnehmen. Es bleibt hierbei die Frage, was inzwischen aus der Hefe geworden ist, offen; hat sie auf irgend einem Wege den Körper verlassen oder ist sie durch die Einwirkung gewisser im Organismus selbst enthaltener Kräfte zerstört, indem sie irgend eine Umwandlung erfahren hat? Schon Popoff hat auf diese Alternative hingewiesen und die Ent-

scheidung als wünschenswerth bezeichnet. Sie erscheint mir übrigens auch für die Frage des Untergangs pathogener Spaltpilze im Organismus bei glücklich ablaufenden Infectionen bedeutsam, und ich selbst gedenke deshalb, jene Frage nicht bloss in Bezug auf die Hefe, sondern auch an einer Reihe anderer Fermente verschiedenster Abkunft experimentell zu behandeln. Erwähnen will ich nur, dass auch von einem anderen pflanzlichen Fermente, welches sich im Thierkörper zunächst, aber bald vorübergehend, von Wirkung zeigt, dem Emulsin, Kölliker und H. Müller[1] zweifelhaft gelassen haben, ob es rasch solche Veränderungen erleidet, dass es nicht mehr zur Umsetzung von Amygdalin fähig ist, oder ob es schnell aus dem Blute entfernt wird. Von der nämlichen Substanz aber behauptet Cl. Bernard, der schon früher[2] mannigfache Versuchsreihen mit ihr angestellt hatte, dass zunächst ihre Aufspeicherung (emmagazinage) in der Leber und dann ihre Ausscheidung durch die Galle stattfindet. Etwas dem ähnliches möchte ich betreffs der Hefe, woselbst wir freilich vornehmlich ein organisirtes Ferment zu berücksichtigen haben, a priori nicht ganz zurückweisen, indem beim experimentellen Diabetes, woselbst es sich doch um eigenartige Vorgänge in der Leber handelt, die Fermentkraft der Hefe etwas länger als bei Hefe- und Rohrzucker-Einspritzungen nachweisbar erschien.

---

[1] *Verhandlungen der Würzburger medicinischen Gesellschaft.* 1856.
[2] *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses.*

Ueber die Curve, nach welcher die Erregbarkeit des Muskels abfällt.

Von

Dr. R. Nikolaides,
Docenten der Physiologie zu Athen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium der Universität zu Athen.)

Es erhält sich bekanntlich die Erregbarkeit der Muskeln viele Stunden nach dem Tode, ja bei Froschmuskeln viele Tage, wenn sie, wie es du Bois-Reymond[1] beobachtete, bei 0° aufbewahrt werden.

Es wurden aber meines Wissens directe Untersuchungen,[2] nach welchem Gesetz der Abfall der Erregbarkeit des Muskels geschieht, nicht gemacht. Ich habe mir nun die Aufgabe gestellt 1. dieses Gesetz zu eruiren und 2. zu sehen, ob auch der Muskelstrom nach demselben Gesetz schwindet. Ich werde heute meine die erste Aufgabe betreffenden Versuche mittheilen.

Ich ging bei diesen Versuchen folgenderweise vor. Zunächst, da die Beobachtungen über die Art des Abfalls der Erregbarkeit des Muskels viele Stunden je nach der Dauer derselben dauern, muss dafür gesorgt werden, dass der Muskel vor jeder schädlichen Einwirkung wie Vertrocknung geschützt wird. Ich habe nun deshalb den M. gastrocnemius des Frosches in der Camera humida des Helmholtz-Pflüger'schen Myographions aufgehängt. Auf dem Tische der Camera wurde ein Becher voll von $^1/_2$ procentiger Kochsalzlösung gestellt. Selbstverständlich wurden die

[1] E. du Bois-Reymond, (*Gesammelte Abhandlungen* u. s. w. Bd. II. S. 12) sah die Erregbarkeit von Gastrocnemius- und Tricepsexemplaren vom Frosche, die bei 0° aufbewahrt wurden, zehn Tage nach dem Tode andauern.

[2] Hermann (*Handbuch der Physiologie.* Bd. I. S. 126) sagt, dass die Erregbarkeit des Muskels, soweit er aus gelegentlichen Erfahrungen schliessen kann, Anfangs steiler abfällt. Versuche aber *ad hoc* hat er nicht gemacht.

Versuche in einem kühlen Raume gemacht. Sodann um die Ermüdung auszuschliessen muss man den Muskel in möglichst seltenen Intervallen reizen und nur das eben merkliche Minimum der Muskelzuckung als Zeichen der stattgefundenen Erregung suchen. Diese sehr wichtige Maassregel wurde bei allen meinen Versuchen streng innegehalten. Der Muskel wurde direct gereizt durch den Inductionsstrom des Inductoriums von du Bois-Reymond. Der Strom geht von der secundären Spirale zu einem Schlüssel von du Bois-Reymond und von dem Schlüssel zum Myographion bez. zu dem in der feuchten Camera desselben aufgehängten Muskel. Das Inductorium wurde in Gang gesetzt durch zwei Gaiffe'sche Elemente, die den Vortheil haben, dass, wenn sie kurze Zeit — im vorliegenden Falle soviel es nöthig ist um die Reizschwelle aufzufinden — gebraucht werden, sie sich längere Zeit constant erhalten. Auf der berussten Glasplatte des Myographions wurde die Zuckung des Muskels aufgezeichnet.

Ist dies Alles, wie erwähnt, arrangirt, so beginnt die Reizung des Muskels Anfangs in häufigeren, später aber in selteneren Intervallen.

Das was man zuerst beobachtet ist eine Steigerung[1] der Erregbarkeit des Muskels, die merkwürdigerweise manchmal viele Stunden nach dem Ausschneiden des Muskels anhält. Davon geben Zeugniss folgende zwei Versuche. In diesen wie in den im Folgenden mitgetheilten Versuchen bedeutet die erste Columne die Zeit, wo der Muskel gereizt wurde, die zweite die Erregbarkeit des Muskels gemessen durch den Abstand der secundären von der primären Spirale des Inductoriums.

Versuch A.

Zeit	Erregbarkeit
10 Minuten nach dem Ausschneiden des Muskels	23
1 Stunde später	23·5
2 Stunden später	24·5
3 „ „	27
4 „ „	27
5 „ „	22·5

Versuch B.

Zeit	Erregbarkeit
10 Minuten nach dem Ausschneiden des Muskels	27
1 Stunde später	31
2 Stunden später	33·5
3 „ „	35·5
4 „ „	36
5 „ „	29

[1] Diese Steigerung der Erregbarkeit soll nach du Bois-Reymond (*Gesammelte Abhandlungen* u. s. w. Bd. II. S. 225) von älteren Forschern beobachtet sein.

Man sieht in diesen Versuchen, dass die Erregbarkeit fünf Stunden lang fortwährend wächst und zwar Anfangs schneller als später. Gewöhnlich aber dauert die Steigerung der Erregbarkeit ganz kurze Zeit und fängt dann an zu sinken.

Der Abfall der Erregbarkeit des Muskels geschieht dann fast immer so, dass sie im Anfange viel rascher abfällt als später. Dieses Gesetz werden die folgenden Zahlen erläutern.

Versuch C.

Zeit	Erregbarkeit
10 Minuten nach dem Ausschneiden des Muskels	28
1 Stunde später	31·5
2 Stunden später	32·5
3 „ „	28·5
4 „ „	21·5
7 „ „	10
8 „ „	9
9 „ „	7·5
11 „ „	7

Versuch D.

Zeit	Erregbarkeit
15 Minuten nach dem Ausschneiden des Muskels	30
1 Stunde später	33·5
2 Stunden später	35
3 „ „	28
4 „ „	23
5 „ „	19
6 „ „	15
7 „ „	12
8 „ „	10
9 „ „	9
10 „ „	8·5

Versuch E.

Zeit	Erregbarkeit
20 Minuten nach dem Ausschneiden des Muskels	43
1 Stunde später	34
2 Stunden später	29
3 „ „	24
4 „ „	20·5
5 „ „	18

	Erregbarkeit
6 Stunden später	15·5
7 " "	12
8 " "	10
9 " "	8
10 " "	6·5
22 " "	1·5

Bemerk. In diesem Versuche sieht man keine Steigerung der Erregbarkeit auftreten. Das kommt manchmal vor. Worin das liegt, ist ebenso unklar wie die Steigerung der Erregbarkeit selbst.

Versuch F.

Zeit	Erregbarkeit
15 Minuten nach dem Ausschneiden des Muskels	37
1 Stunde später	41·5
2 Stunden später	33
3 " "	26
4 " "	20·5
5 " "	16·5
6 " "	13
7 " "	10·5
8 " "	8·5
9 " "	6·5
10 " "	5·5
12 " "	1·0

Wenn man obige Zahlen graphisch darstellt, so wird man sehen, dass sie keine Gerade, sondern eine Curve liefern, deren Convexität der Abscissenaxe zugekehrt ist.

Interessant wäre nun noch zu wissen, ob auch der Muskelstrom nach demselben Gesetz schwindet wie die Erregbarkeit des Muskels. Obschon wichtige Gründe dafür sprechen, dass dies der Fall sein wird, muss es doch bewiesen werden. Ich hoffe binnen Kurzem im Stande zu sein, das Nähere darüber mittheilen zu können.

Athen, 16. Mai 1886.

Beitrag zur Lehre von der Natur der hemmenden Wirkung des Vagus auf das Herz.

Von

A. Taljanzeff,

Assistenten am Laboratorium für allgemeine Pathologie bei der Universität Moskau.

Ueber die Natur der hemmenden Wirkung des Vagus auf die Thätigkeit des Herzens sind bekanntlich verschiedene Meinungen ausgesprochen; dessenungeachtet ist die Frage nicht nur unerledigt, sondern bleibt fortwährend der Gegenstand immer neuer Untersuchungen, die manchmal den Anlass zur Aufstellung neuer Hypothesen geben. Zu letzteren gehört unter anderen die Voraussetzung, die in Arbeiten von drei italienischen Gelehrten, Luciani, Chirone und Stefani und in der russischen Dissertation von Dr. Lebedeff, ausgesprochen ist. Da ich mir die in *Rivista clinica di Bologna* (1871—76) gedruckten Originalarbeiten der italienischen Autoren nicht verschaffen konnte, so musste ich mich mit den Referaten der genannten Arbeiten in verschiedenen Jahresberichten begnügen, aus welchen man nur den Grundgedanken ihrer Hypothesen erfährt: dass, wie die normale Diastole, so auch der durch Vagusreizung hervorgerufene diastolische Stillstand des Herzens die activen Processe, die Thätigkeitserscheinungen des Herzmuskels sind. In der Dissertation von Lebedeff kann man ungeachtet der äusserst verwickelten Erklärungsweise, der unzweckmässigen Untersuchungsmethode, der unklaren und unrichtigen Auffassung der Aufgabe überhaupt, zwar nicht ohne Mühe, doch schliesslich zwischen den Zeilen einen originellen Grundgedanken herauslesen, der nach des Autors Angabe Hrn. Prof. Ludwig gehört. Indem Lebedeff die Aenderungen der Dauer der diastolischen Intervalle zwischen zwei Systolen bei der Vagusreizung als Function der Stärke und Frequenz der Einzelreize untersuchte, wollte er beweisen, dass die die Längen dieser Intervalle ausdrückenden Zahlen als Ordinaten auf der Abscissenaxe errichtet, ungefähr eine Hyperbel geben. Indem Lebedeff diese Hyperbel mit der von Bohr als graphischen Ausdruck des Entstehungsgesetzes der Muscelcurve beim Tetanus erhaltenen vergleicht, strebt er, trotz dem Mangel jeder Analogie zwischen diesen beiden Hyperbeln, nicht nur solche Analogie nachzuweisen, sondern auf

Grund der angeblichen Existenz derselben zieht er den ganz unerlaubten Schluss, dass die Diastole des Herzens sowie der diastolische Vagusstillstand eine tetanische Muskelcontraction sei.

Um zu entscheiden, inwiefern die obenangeführte Hypothese statthaft ist, ob wirklich während des durch Vagusreizung hervorgerufenen Stillstandes im Herzen die Processe vor sich gehen, die auf den thätigen Zustand des Herzmuskels hinweisen, wählte ich als dessen Kriterium die elektrischen Eigenschaften des Herzens. Es ist bekannt, dass die unversehrte Oberfläche des Herzens in Ruhe isoëlektrisch ist (Engelmann), dass seine Contraction, gleich derjenigen jedes quergestreiften Muskels von dem Entstehen des sogen. Actionsstromes begleitet wird, der sich an einem hinreichend empfindlichen Galvanoskop, z. B. am Lippmann'schen Capillar-Elektrometer oder am physiologischen Rheoskope kundgiebt. Wenn jetzt, der obenangegeführten Hypothese gemäss, die normale Diastole sowie der Vagustillstand sich als Resultat des thätigen Zustandes des Herzmuskels darstellten, so hätten wir das Recht auch während dieser Perioden die Anwesenheit irgend welcher elektrischen Erscheinungen (Actionsströme) zu erwarten, die sich an einem der zwei erwähnten Elektroskope, oder im Falle des oscillirenden Charakters derselben auch mittels des Telephons nachweisen liessen. Da weder das Telephon (nach Wedenskii), noch das physiologische Rheoskop (nach Donders) während dieser Periode irgend welche elektrischen Veränderungen zu erkennen geben, so war ich auf das Capillarelektrometer angewiesen, das ich mir selbst nach Form der von Prof. Christiani construirten mit den gewöhnlichen Hülfsmitteln des Laboratoriums angefertigt habe, und am Objecttischchen eines gewöhnlichen Hartnack'schen Mikroskopes (Obj. Nr. 4, Ocularmikrometer Nr. 2) befestigte. Vor Anstellung der Versuche am Herzen prüfte ich die Empfindlichkeit des Elektrometers und seine Fähigkeit schwache oscillirende Ströme anzuzeigen. Es ergab sich, dass der von zwei Punkten mittels der unpolarisirbaren Thonstiefelelektroden abgeleitete ruhende Strom des leicht ausgespannten M. gastrocnemius des Frosches das Quecksilbersäulchen in der Capillare über die Grenzen des Gesichtsfeldes hinaus trieb. Nachdem dieser Strom mittels des runden Compensators compensirt worden war, reizte ich den Ischiadicus mit Inductionsströmen von mittlerer Stärke. Die Zahl der einzelnen Reize, die ich nachher auf graphischem Wege bestimmte, betrug ungefähr 25 pro Secunde. Ich beobachtete dann eine bedeutende, den dritten Theil des Gesichtsfeldes betragende negative Schwankung, wobei ganz deutlich zu sehen war, dass der scharf conturirte Umriss des Meniscus sich in einen verwischten grauen Saum verwandelte.[1] Wie Martius richtig bemerkt,

[1] Die für das Auge in einen verwischten grauen Saum zusammenfliessenden Oscillationen des Meniscus sind noch einzeln als solche im Anfang der Reizung während



wird dieser graue Saum nur im Anfang des Tetanus bemerklich, verschwindet aber bald ungeachtet des persistirenden Tetanus des Muskels, indem er wieder die frühere Form des scharf contourirten Meniscus annimmt; und dieser Umstand dient sogar als Beweis, dass man hier wirklich mit der negativen Schwankung des Muskelstromes, und nicht mit Schleifen des den Nerven reizenden Stromes zu thun hatte. Der von zwei zusammengelegten Nn. ischiadicis des Frosches zwischen Aequator und Querschnitt abgeleitete Strom trieb den Meniscus auf $^1/_3$ Durchmesser des Gesichtsfeldes, Reizung der freien Enden der Nerven mit Inductionsströmen von mässiger Stärke rief die negative Schwankung in $^1/_6$ der Stärke des ruhenden Nervenstromes hervor, wobei der graue Saum nicht zu sehen war.

Nachdem ich mich der Empfindlichkeit des Instrumentes versichert hatte, schritt ich zu Experimenten am Herzen und zuerst an Fröschen. Das Thier wurde auf dem Korkbrettchen befestigt, sein Herz vom Pericardium entblösst, ein Vagus abpraepararirt, durchschnitten und sein peripheres Ende auf die Elektroden des Inductionsapparates gelegt. Nachher berührte ich mit den Thonspitzen der unpolarisirbaren Elektroden die Herzoberfläche an zwei Punkten, deren einer nahe der Atrioventriculargrenze, der andere nahe der Spitze lag, und stellte die Ableitung zum Elektrometer her. Bei jeder Construction des Ventrikels bewegte sich der Meniscus um einige Theilstriche von der Anfangsstellung abwärts, beim Uebergange der Systole in Diastole kehrte er wieder zu dieser Stellung oder nahe derselben zurück. Es verdient bemerkt zu werden, dass die Bewegungen des Meniscus nicht immer gleich nach Grösse und Richtung waren: machte der Frosch einige Bewegungen mit dem Rumpfe, so veränderte sich ein wenig die frühere Lage des Herzens gegen die Elektroden und dann erschienen die Bewegungen des Meniscus in anderer Grösse und an einer anderen Stelle des Gesichtsfeldes.

Nachdem ich mich mit dem Bewegungscharakter des Meniscus bei normaler Thätigkeit des Herzens bekannt gemacht hatte, reizte ich den Vagus. Die dabei von mir beobachteten Erscheinungen waren folgende: gewöhnlich gleich nach Anfang der Reizung folgten noch je nach Stärke des Stromes und Beschaffenheit des Praeparates ein bis zwei Systolen. Dann stand das Herz in Diastole still; das Quecksilbersäulchen in der Capillare blieb dementsprechend auch nach ein bis zwei Schwankungen an dem der Null nahen Punkte und manchmal am Nullpunkte selbst stehen. Weder im Anfang der Reizung des Vagus, noch während des Herzstillstandes konnte man am Meniscus irgend welche Unklarheit seines Umrisses wahrnehmen, die für die Existenz oscillirender Ströme sprechen könnte; immer blieb der

des Ueberganges der Quecksilbersäule in die neue ihm von der negativen Schwankung angewiesene Stellung erkennbar — nämlich in der Form einer sprungartigen Bewegung des Meniscus.

Meniscus in Ruhe, scharf conturirt, bis das Herz in Diastole stillstand. Aufhören der Reizung rief auch keine Veränderungen im Meniscus hervor; das Herz pflegte noch einige Secunden nach Aufhören der Reizung in Diastole still zu stehen; sobald das Herz seine Contractionen wieder aufnahm, fing der Meniscus sogleich seine rhythmischen Bewegungen wieder an.

Ausser an Fröschen habe ich die Experimente an einem Kaninchen und an zwei Hunden angestellt. Die Ableitung zum Elektrometer war beim Kaninchen und einem Hunde mittels zweier bis an die Spitzen mit Siegellack isolirter und durch die unversehrte Brustwand in das Herz eingestochene Stahlnadeln bewirkt; bei dem anderen Hunde war der Thorax geöffnet (künstliche Athmung), und die Nadeln wurden in das vom Pericardium blossgelegte Herz eingestochen. Ausser einem starken Strom wegen Ungleichartigkeit der Spitzen beobachtete ich in allen diesen drei Fällen die den Herzcontractionen entsprechenden rhythmischen Bewegungen des Quecksilbersäulchens; im Betrage von $^1/_4$ bis $^1/_3$ Durchmesser des Gesichtsfeldes; bei Vagusreizung waren dieselben Erscheinungen wie am Froschherzen zu beabachten: blieb das Herz stillstehen, so stellte das Quecksilbersäulchen seine Bewegungen ein; es blieb in Ruhe, und kein grauer Saum war an ihm zu sehen. Ich muss hier sagen, dass diese Versuche an Warmblütern wegen der vielen Fehler meiner Ableitungsmethode mit unpolarisirbaren Elektroden wiederholt werden müssen.

Alle diese Versuche mit dem Capillarelektrometer zeigen, das das Herz während des durch Vagusreizung hervorgerufenen diastolischen Stillstandes keine solche Veränderungen seines elektromotorischen Verhaltens zeigt, die den Act der Muskelcontraction charakterisiren. Es handelt sich dabei weder um Einzelzuckungen, denn der Meniscus bleibt in Ruhe, noch um tetanische Contraction, weil am Meniscus keine Oscillationen wahrzunehmen sind.

Ausser dem Vagutstillstande untersuchte ich das elektromotorische Verhalten des Herzens auch während des auf andere Weise, durch Muscarin und durch Helleborein erzeugten Stillstandes. Es zeigte sich, dass während des diastolischen Muscarinstillstandes, sowie während Stillstandes des Froschherzens in zusammengezogenem Zustande durch Helleborein keine Veränderungen der elektrischen Spannungen an der Herzoberfläche im Elektrometer wahrzunehmen sind. Wenn das Elektrometer manchmal auch einen Strom anzeigte, so war dieser Strom wegen seiner Unbestimmtheit doch nur als durch zufällige Beschädigung der Herzoberfläche (nach Engelmann) anzusehen; jedenfalls zeigte er keine Schwankungen, die auf Thätigkeit des Herzmuskels während dieser toxischen Stillstände hindeutete.

Zum Schluss halte ich es für meine Pflicht, meinem verehrten Freunde Hrn. Privatdocenten Dr. Gliky, für viele nützliche Rathschläge in dieser Arbeit meinen innigsten Dank auszusprechen.

Die künstliche Parthenogenese bei Insecten.

Von

A. Tichomiroff
in Heidelberg.

Es ist seit langer Zeit bekannt, dass die Eier von Bombyx mori sich parthenogenetisch entwickeln können; doch hört man auch nach den Arbeiten von Herold und von v. Siebold noch immer zweifelnde Stimmen darüber.

In der letzten Zeit habe ich Gelegenheit gehabt, nochmals diese interessante Frage zu studiren und bin dabei zu vielleicht nicht uninteressanten Resultaten gekommen, die ich hier vorläufig und ganz kurz beschreiben will.

Ich nahm eine gewisse Zahl von Cocons des Seidenspinners und legte jeden von ihnen in ein besonderes Musselinsäckchen ein; jedes Säckchen ward zugebunden. Die Schmetterlinge, die aus den Puppen, die in diesen Cocons sich befanden, ausgekrochen waren, blieben in dieser Weise vollkommen isolirt.

Wie bekannt legen die unbefruchteten Weibchen ihre Eier nicht sehr gern ab. Doch nach einigen Tagen bekam ich schon eine ziemlich grosse Menge unbefruchteter Eier und konnte meine Versuche anfangen. Diese Versuche bestanden darin, dass die Eier mechanisch und chemisch gereizt wurden, ganz in der Weise, wie man es thut, um von befruchteten Eiern, die wie bekannt normal im Sommer nur bis zu einem gewissen Grade sich entwickeln, schon in demselben Sommer Räupchen zu bekommen.

Ich tauchte 36 unbefruchtete Eier in concentrirte Schwefelsäure und liess sie dort zwei Minuten (später wurden die Eier sorgfältig ausgewaschen). 13 (also $^1/_3$) von diesen Eiern fingen an schon am vierten Tage ihre Farbe zu wechseln. Am sechsten Tage konnte man in diesen Eiern einen Embryo constatiren. Der Embryo sowohl als auch die aus prachtvollen Pigmentzellen bestehende seröse Hülle sahen ganz normal aus.

Andere 16 Eier wurden mit einer Bürste absichtlich ganz schwach gerieben. Bis jetzt (also nach einer Woche) bleibt das Resultat negativ: kein einziges Ei entwickelt sich.

Eine dritte Anzahl von 99 Eiern ward mit einer Bürste stark gerieben. Am vierten Tage bemerkte man bei sechs von diesen Eiern den für die sich entwickelnden Eier charakteristischen Farbenwechsel.

Unter allen unbefruchteten Eiern, die ungereizt blieben, wurde kein einziges sich parthenogenetisch entwickeltes Ei bemerkt.

So unvollständig diese Versuche auch sind, so glaube ich doch das Recht zu haben, aus ihnen folgende zwei Schlüsse ziehen zu können:

1. Es kann kein Zweifel existiren, dass die Eier von Bombyx mori sich parthenogenetisch entwickeln können.

2. Solche Eier, die sich nicht von selbst parthenogenetisch entwickeln wollen, können durch einen Reiz dazu gezwungen werden.

Periodische Athmung und Luxusathmung.[1]

Von

Prof. Angelo Mosso
in Turin.

(Hierzu Taf. II—IX.)

I. Capitel.

Periodische Athmung.

Die Athembewegungen sind nicht immer gleichförmig und regelmässig. Im Zustande tiefer Ruhe, besonders im Schlafe sieht man, beim Menschen sowohl wie bei Thieren, Perioden auftreten, d. h. Gruppen von Inspirationen, die successive an Ausgiebigkeit zu- und abnehmen. Diese eigenthümliche Form der Respiration kann man als periodische Athmung bezeichnen, im Gegensatze zu der gleichmässigen, welche den gewöhnlichen, heutzutage allein als physiologisch betrachteten Typus darstellt.

Die Aufzeichnungen 1 und 2 der Taf. II zeigen, wie die ersten Andeutungen der periodischen Athmung schon im Zustande des Wachens auftreten. Die Aufzeichnung 1 wurde an meinem Laboratoriumsdiener Giorgio Mondo, einem gesunden und kräftigen jungen Manne, erhalten, und zwar mittels eines direct auf die Haut um das Abdomen geschnallten Marey'schen Pneumographen. Giorgio lag dabei auf einer Matratze mit hinter dem Kopfe gekreuzten Händen. Es war 11 Uhr Vormittags, und ich hatte alle Anstalten getroffen, damit kein Lärm oder sonstiger äusserer Einfluss störend dazwischen träte. Wir waren allein im Zimmer und Giorgio war im höchsten Grade ruhig.

[1] Die Abhandlung wurde in der Sitzung am 4. Januar 1885 der Akademie *dei Lincei* in Rom vorgelegt.

Betrachtet man den oberen Theil der Aufzeichnung (s. Taf. II), so sieht man, dass schon im Zustande des Wachens, Perioden grösserer und geringerer Respirationsthätigkeit vorkommen, so dass, wenn man sich hier durch alle Ruhepunkte des Thorax (durch die Enden aller Exspirationen) eine Linie gezogen denkt, diese keine gerade ist.[1]

Um den Verdacht auszuschliessen, dass diese Schwankungen der Ruhe-Linie des Abdomens etwa von einer Erweiterung oder Verengerung der Blutgefässe oder von einer Verschiebung der Unterleibsorgane abhängen möchten, schrieb ich, mittels zweier Marey'schen Pneumographen gleichzeitig die Brust- und die Bauchathmung.

Die beiden Curven der Fig. 2, Taf. II, wurden am Nachmittage desselben Tages erhalten, während Giorgio seit etwa einer halben Stunde vollkommen ruhig da lag. Sein Kopf war etwas gehoben, seine Arme längs dem Körper gestreckt, seine Augen offen, als wenn er zerstreut wäre. Die Curve der Brustathmung *Tor*, ist über der Curve der Bauchathmung *Ad* aufgezeichnet, und an beiden bemerkt man die Andeutung der Periodicität. Wenn wir in der Curve *Ad*, und zwar in ihrem linken Theile, als Ausgangspunkt einen der kleinsten abdominalen Athemzüge wählen, etwa den Athemzug *R*, so sehen wir, dass auf diesen zwei stärkere Athemzüge folgen, dann wieder drei schwächere, und dann in *R'* ein noch schwächerer, gleich dem in *R*; hierauf wiederholt sich die gleiche Periode; und so geht es weiter, mehr oder weniger deutlich, und es kommen mehr oder weniger lange Perioden zu Stande. Diese Perioden wiederholen sich gleichzeitig auch in der Brustathmung.

Vergleicht man die Ausgiebigkeit der Athembewegungen des Bauches und des Thorax, so sehen wir, dass sie in ihren Variationen nicht einander entsprechen. Namentlich in der zweiten Hälfte, im Punkte *N*, erfolgt eine momentane Pause der Athmung, in Folge einer verlängerten Exspiration, welche den Beginn einer durchgreifenden Umgestaltung der Brustathmung bezeichnet: die Exspirationen werden nach und nach grösser als die Inspirationen, so dass der Thorax zusammensinkt.

Ich will hier daran erinnern, dass der Marey'sche Pneumograph bei der Aufzeichnung die Richtung der Bewegungen umkehrt, weshalb in der

---

[1] Ich bemerke, dass alle Aufzeichnungen dieser Arbeit von links nach rechts geschrieben und auf photolithographischem oder photozinkotypischen Wege wiedergegeben worden sind. — Bei allen Versuchen am Menschen wurden die Pneumographen direct auf die Haut, nicht auf das Hemd oder auf die Kleider aufgesetzt.

Die Curven wurden nicht alle mit gleicher Geschwindigkeit geschrieben. Doch bei den am Menschen angestellten Versuchen kann dieser Umstand keine Verwirrung veranlassen, da es sich sämmtlich um Personen handelte, die eine für ihr Alter normale Athemfrequenz aufwiesen.



Aufzeichnung die Spitze der Inspirationscurven unten liegt, und die Ruhestellung des Thorax am Ende der Exspirationen durch die Linie dargestellt wird, die man sich durch die nach oben gerichteten Spitzen gezogen denkt.

Der verminderten Thätigkeit der Brustathmung in *N* entspricht eine lebhaftere Thätigkeit des Zwerchfells, denn die Excursionen des Abdomens werden nach dem Zeichen *N* grösser.

Im letzten Theile der Aufzeichnung, in *E*, sah ich, dass die Brustathmung wieder stärker wurde und der Thorax sich in den aufeinanderfolgenden Ruhestellungen erweiterte, während die Amplitude der Bewegungen des Zwerchfells in entsprechender Weise abnahmen; und gleich darauf, in *I*, erfährt der Brustkasten ein neues Zusammenfallen, während die diaphragmatische Athmung stärker wird. Alle diese Veränderungen erfolgen in der tiefsten Stille und ohne irgend eine bekannte Veranlassung.

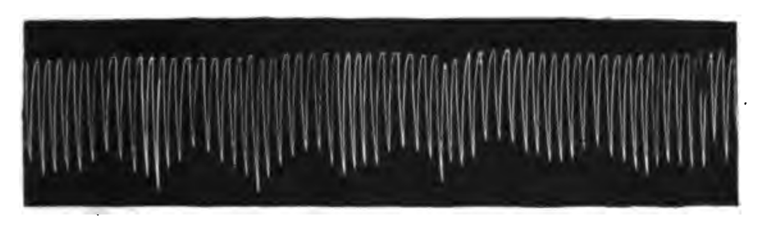


Fig. 1.

Periodische Athmung eines Hundes nach langem Laufen.

Die alte Vorstellung von einem einzigen Respirationscentrum muss aufgegeben werden. Ich werde in dieser Arbeit darthun, dass die Athembewegungen der Gesichtsmuskeln, des Zwerchfells, des Thorax und des Abdomens speciellen und unabhängig von einander fungirenden Centren unterworfen sind.

Regelmässige Perioden grösserer oder geringerer Thätigkeit der Athembewegungen habe ich auch an Thieren, und zwar am Hunde und am Kaninchen beobachtet. Man braucht nur aufmerksam ein Nest voll junger Hunde oder Kaninchen, wenn sie vollkommen ruhig daliegen, zu betrachten, so bemerkt man bald ein junges Thier, oder mehrere, die den periodischen Respirationstypus aufweisen. Sobald man pfeift, oder sonst durch irgend ein Geräusch ihre Aufmerksamkeit weckt, wird ihre Athmung wieder rhythmisch und gleichförmig.

Aber auch bei erwachsenen Thieren kann die Athmung eine deutlich periodische Form annehmen. So zeigt Fig. 1 die periodische Athmung eines nach angestrengtem Laufen ruhenden Hundes, mittels eines um den Thorax applicirten Marey'schen Pneumographen aufgezeichnet.

Die periodische Athmung ist am Kaninchen um so leichter zu beobachten, je vollständiger die Ruhe des Thieres. Zu diesem Zwecke legte ich ein Nest voll junger Kaninchen auf einen Tisch mit frischem Gemüse und Gras zum Fressen und versteckte mich hinter einen Schirm um die Thiere bequemer zu beobachten, ohne dass sie meine Nähe bemerkten.

Die Perioden sind so regelmässig, dass dieses allein genügen würde, den Verdacht auszuschliessen, als hingen diese Variationen von äusseren Ursachen ab. Ich überzeugte mich durch die Beobachtung, dass sie nicht von den Schlingbewegungen abhängen, und was die psychischen Erscheinungen anlangt, so konnte ich den Einfluss derselben ebenfalls ausschliessen, da diese Athmungsperioden in keiner Beziehung standen mit der Contraction und der Erschlaffung der Ohrgefässe, Erscheinungen, welche bekanntlich bei Kaninchen ein sicheres Kennzeichen der psychischen Thätigkeit abgeben.[1]

Doch eine Reihe von Beobachtungen an Menschen und Thieren hatte mir gezeigt, dass der Zustand der psychischen Thätigkeit einen grossen Einfluss ausübt auf den Rhythmus und die Energie der Athembewegungen. Der Kürze wegen führe ich gleich eine an mir selbst angestellte Beobachtung auf; so werde ich mit grösserer Sicherheit dem Leser sagen können, was in meinem Bewusstsein vor sich ging, als gleichzeitig Aenderungen in den Athembewegungen zu Stande kamen.

Am 5. Juni lege ich mich auf das Bett, nachdem ich mir zuvor einen Pneumographen um den Thorax und einen anderen um das Abdomen angelegt habe. Ich sage dem Assistenten, er soll den Cylinder erst in Gang setzen, wenn ich eine halbe Stunde vollkommen ruhig geblieben sein werde. Ueberdies weise ich ihn an, jedesmal ein Zeichen *d* auf der Respirationscurve zu machen, wenn ich leise meinen Zeigefinger bewege.

Anfänglich sind die Brust- und Bauchathmungen regelmässig, und ich führe die betreffenden Theile der Aufzeichnung nicht auf. In dem Maasse aber, wie die körperliche und die geistige Ruhe tiefer werden, nimmt die Respirationsfrequenz zu und wird die Zwerchfellathmung flacher. Die Stellen wo ich den Zeigefinger leicht bewegt habe, sind mit d, d', d'', d''' (Fig. 2) bezeichnet. Sie entsprechen den Augenblicken, wo in meinem Bewusstsein Vorstellungen auftauchten, deren Ursprung und Verkettung mit vorhergegangenen Vorstellungen mir völlig unbekannt blieben. Es waren Bilder, die sich meinem Geiste, obgleich ich ihn nach Möglichkeit in Ruhe zu erhalten suchte, aufdrangen und mein Bewusstsein mitrissen; sie gruppirten sich zu Lebensbildern und -scenen, die ich als den Beginn eines Traumes ansehen musste, obgleich ich noch so viel Bewusstsein bewahrte, dass ich

[1] A. Mosso, Ueber den Kreislauf des Blutes im menschlichen Gehirne. Leipzig 1881.

mich selbst überwachen konnte, indem der Zweck meiner Ruhe von Zeit zu Zeit in meinem Bewusstsein vorleuchtete.

Jedesmal nachdem ich ein Zeichen mit dem Zeigefinger machte, sehen wir, dass die Athmung tiefer und langsamer wird und die vorhin schwache Bauchathmung stärker wird.

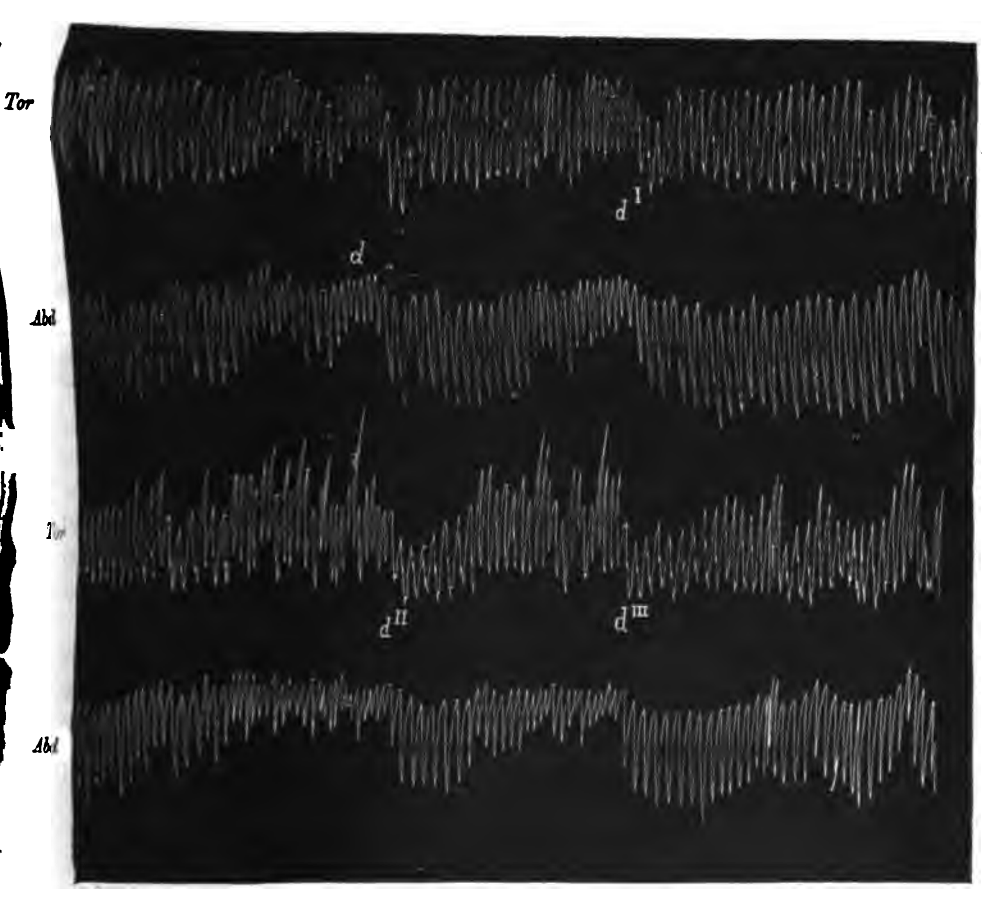


Fig. 2.

Brustathmung *Tor* und Bauchathmung *Abd*, gleichzeitig, während ich schlummere, geschrieben; bei *d*, *d'*, *d''*, *d'''* komme ich zum Bewusstsein zurück.

Betrachten wir die Veränderungen, welche die Respiration vor dem Zeichen darbietet, so können wir sagen, dass die charakteristischen Merkmale der Athmung im Zustande der geistigen Ruhe folgende sind:

1. Grössere Frequenz der Athembewegungen; 2. allmähliche Abnahme der Ausgiebigkeit derselben, in dem Maasse wie die

Ruhe tiefer wird; 3. stärkere Abnahme der Ausgiebigkeit der Zwerchfellcontractionen im Vergleich zu denen der Thoraxmuskeln.

Wenn ich den Zeigefinger bewege, um anzudeuten, dass ich im Begriffe bin einzuschlafen, und wenn ich dabei wieder des Zweckes meiner Versuche bewusst werde, so wird die Bauchathmung stärker und die Athemfrequenz geringer; beim Erwachen des Bewusstseins scheint die Erregbarkeit nicht nur im Gehirne sondern auch im Rückenmarke zuzunehmen, da der Tonus der Muskelapparate, die zu den Athembewegungen dienen, zunimmt. Und wenn sich von Neuem der Schlaf einstellen will, so nimmt die Thätigkeit des Zwerchfells wieder ab.

Es giebt Personen, bei welchen die Athembewegungen die Neigung haben, periodisch zu werden, sobald ihre Aufmerksamkeit aufhört und sie leicht einschlummern. Hr. stud. A. Rondelli ist ein kräftiger 18jähriger junger Mann, der mein Laboratorium besucht. Vorigen Sommer haben wir an ihm mehrere Beobachtungen angestellt, welche fast alle das gleiche Resultat ergaben. Während er mit einem um den Thorax geschnallten Marey'schen Pneumographen auf einem Lehnstule sass, wurden seine Athembewegungen mit Hülfe eines langen Gummirohres, ohne dass er es merkte, registrirt, und ich erhielt eine Aufzeichnung, wie die in Fig. 3 der Taf. II dargestellte. Später fingen Unregelmässigkeiten in der Athmung aufzutreten an; und als er das Buch, das er in der Hand hielt, fallen liess, oder die Augen zudrückte, so hatte die Athmung die periodische Form angenommen, wie sie in Figg. 4 und 5 der Taf. II dargestellt ist.

Die periodische Athmung erscheint hier in ihrer charakteristischsten Form, mit Perioden einer grösseren Thätigkeit und einer Remittenz, welche der sogenannten Cheyne-Stokes'schen Athmung gleichen. Wir werden diese Erscheinung in den folgenden Capiteln näher analysiren und nachweisen, dass dieselbe durchaus eine physiologische Erscheinung ist.

II. Capitel.

Luxusathmung.

Ich bediene mich dieses Ausdruckes, da ich nicht wüsste, wie ich besser die Thatsache ausdrücken sollte, dass wir im Allgemeinen mehr athmen als es für unseren Organismus nothwendig ist. Die Zahl und Ausgiebigkeit der Athembewegungen entspricht nicht immer genau der Intensität der Oxydationsprocesse, die im Körper vor sich gehen, und dem Bedürfniss, die Kohlensäure auszuscheiden.

Wir haben bereits gesehen, wie durchgreifend die Athembewegungen durch die Hirnthätigkeit modificirt werden, und ich könnte nicht wenige Beispiele von noch erheblicheren Aenderungen anführen, die durch einfache Gemüthseindrücke oder sonstige Vorgänge im Nervensystem hervorgebracht werden.

Ich besitze einen grossen Haushund, den ich wegen seiner ungewöhnlichen Intelligenz und Charaktergüte sehr lieb gewonnen habe. An diesem Hunde habe ich zahlreiche Beobachtungen angestellt, bei denen ich überrascht war durch die grosse Leichtigkeit, mit der sich die Athmung modificirt. Dieser Hund kann mit zwei Pneumographen, von denen der eine um den Thorax, der andere um den Bauch geschnallt ist, schlafen. Oft genügt es ihn bloss anzusehen, damit sich der Respirationstypus sofort ändere. Kauert er auf dem Boden, oder liegt er auf dem Tische ausgestreckt, während die Athembewegungen registrirt werden, so genügt es ein Wort zu sagen, oder etwas im Zimmer zu verschieben, oder sonst das geringste Geräusch zu machen, damit sich sofort eine tiefe Aenderung in der Respirationscurve einstelle, die oft mehrere Minuten anhält, bis sich der ursprüngliche Athmungstypus wieder herstellt.[1]

Die Hunde im Sommer, oder nachdem sie herumgelaufen sind, zeigen sehr bedeutende Sprünge und Abwechselungen in der Luftmenge, die sie in ihre Lungen einziehen: sie gehen ganz plötzlich vom Typus der dyspnoischen Athmung zu einer ruhigen Athmung über, als ob plötzlich, ohne alle sichtbare Veranlassung, der regulirende Apparat eine Veränderung erführe.

Andere Versuche, die ich über den Schlaf angestellt, hatten mir schon gezeigt, dass die Intensität der Athmung erheblichen Abänderungen unterworfen ist, welche den Bedürfnissen des Organismus hinsichtlich der chemischen Verbrennungsprocesse nicht entsprechen.

Man braucht nur die Aufzeichnungen Figg. 3, 4, 5 auf Taf. II, die an Stud. A. Rondelli mittels eines an den Thorax applicirten Marey'schen Pneumographen erhalten wurden, zu betrachten, um zu erkennen, wie stark die Ausgiebigkeit der Athembewegungen in weniger als zwei Minuten abnehmen kann, während der Körper sich im Zustande völliger Unbeweglichkeit befindet und jedes äussere Moment fehlt, das auf die Sinnesnerven einwirke.

Wenn man an schlafenden Menschen und Thieren die Athembewegungen studirt, so erkennt man auf's deutlichste das Uebergewicht der nervösen Erscheinungen über die rein chemischen: die von mir gesammelten einschlägigen Beispiele sind so zahlreich, dass ich nur zu wählen habe.

---

[1] A. Mosso, *La Peur*, Étude psycho-physiologique. Paris 1886. Ch. VII. p. 88.

Die Aufzeichnungen 10 und 11, Taf. III, stellen die Brustathmung bei einem 77 jährigen Greise, während derselbe schlief, dar. In *A*, *B*, *C* treten ohne alle äussere Veranlassung bedeutende Aenderungen der Respirationsbewegungen auf: in *A* werden sie plötzlich fast um die Hälfte stärker. Da es Nacht war und kein Geräusch in der Umgebung hörbar geworden war, indem ich sorgsam darauf Acht gab, dass keine äussere Einwirkung die Ruhe störte, so muss ich annehmen, dass diese Aenderung der Athmung von einem Wechsel der Erregbarkeit der nervösen Centren, oder von psychischen Vorgängen abhing. Die Athembewegungen verbleiben während mehrerer Minuten stärker und lassen einige Neigung zur Periodicität erkennen. In *B* sinkt der Thorax plötzlich wieder zusammen, als ob der Tonus seiner Muskeln abnähme und die Exspiration tiefer würde. Es erfolgen vier sehr schwache Inspirationen, es scheint als ob die Bewegungen still stehen wollten, und dann werden sie wieder stärker als zuvor: es folgen einige Perioden, und in *C* werden die Athembewegungen wieder sehr flach. Ich versuche den Mann zu wecken und frage ihn, ob er geträumt habe; er antwortet, er habe fest geschlafen und erinnere sich an nichts.

Den besten Beweis, dass man wirklich mehr Luft einathmet als man braucht, liefert die Thatsache, dass wir willkürlich und ohne allen Schaden die Menge der eingeathmeten Luft vermindern können.

In Fig. 6, Taf. III, sind die Aufzeichnungen der Bauch- und der Brustathmung bei G. Mondo wiedergegeben, die nach der gewöhnlichen Methode mittels der gleichzeitig an Brust und Bauch angelegten Marey'schen Pneumographen erhalten wurden. G. Mondo legte sich auf das Bett und blieb 15 Minuten vollkommen ruhig: nachher wurden die Athembewegungen Fig. 6, Taf. III, geschrieben.

Die Zahl der Athemzüge wird nach und nach grösser, in dem Maasse als die Athmung flacher und die Ruhe und Stille vollständiger wird. Das Augenfälligste ist die successive und sehr beträchtliche Abnahme, welche die respiratorischen Excursionen des Abdomens erfahren.

In Fig. 7, Taf. III, sage ich zu G. Mondo, er solle mit geringerer Frequenz athmen. Er rührte sich nicht und richtete nur nach meiner Aufforderung den Blick auf den Cylinder, um die Athembewegungen so zu regeln, dass die Erweiterungen und Verengerungen des Abdomens und des Thorax ungefähr gleich wären mit denen der oberen Curvenzeilen. Die Zahl der Athemzüge ist ungefähr um die Hälfte kleiner als vorher, und

diese bedeutende Verminderung der Athemfrequenz dauert mehr als 10 Minuten. Die untere Linie zeigt die Minuten an.

Man beachte hier, dass die Bedingungen des Versuches ungünstig sind für das Resultat, das ich erreichen wollte, da G. Mondo, um die Athmung zu verlangsamen, mit grosser Aufmerksamkeit verfahren musste bei einer für ihn ungewohnten Arbeit; Umstände, welche für sich allein genügen würden, um die Athemfrequenz durch die Anstrengung zu vermehren.

Da mir diese Versuche nicht genügten, so wollte ich noch messen, um wie vieles factisch das Volumen der eingeathmeten Luft willkürlich vermindert werden könne.

Zu diesem Zwecke bediente ich mich desselben Apparates, den ich bereits bei anderen Untersuchungen zur Bestimmung des Werthes der mittleren Inspiration angewandt hatte.[1] Es ist dies eine von Riedinger in Augsburg construirte Gasuhr, deren gefächertes Rad so vollkommen aequilibrirt ist, dass es durch den Druck einer 2^{mm} hohen Wassersäule in Bewegung gesetzt wird. Der auf der Hauptaxe angebrachte Zeiger verzeichnet auf dem Zifferblatte die Bruchtheile von einem Liter. Zwei mit Wasser gefüllte Müller'sche Ventile bestimmen die Richtung des Luftstroms in der Weise, dass nur die Inspirationsluft durch die Gasuhr geht. Eine nach dem Gesichte der Person, an welcher die Versuche angestellt werden sollen, modellirte Guttapercha-Maske schliesst, wenn sie mit etwas Fett oder Vasellin bestrichen wird, luftdicht das Gesicht ab. Ich brauche kaum zu bemerken, dass, um die Widerstände nach Möglichkeit zu vermindern, ich dafür gesorgt habe, dass alle Röhren dieses Apparates mindestens so weit seien wie die Trachea.

Am 5. Juni stelle ich einen Versuch an. Ich applicire meinem Bedienten G. Mondo die Maske und er legt sich um $10^1/_2$ Uhr nieder. Nach 10 Minuten, während er sich ganz ruhig verhält, verbinde ich die Müller'schen Ventile mit dem Rohre der Larve, das auf dem Vorsprunge vor dem Munde und der Nase eingesetzt ist, und warte weitere 10 Minuten ab.

Es war vorhin unter uns verabredet, dass wenn ich ihm ein Zeichen gäbe, er 10 Minuten lang möglichst langsam athmen würde, ohne sich jedoch zu sehr anzustrengen, und dass er während der 10 nachfolgenden Minuten ohne allen Zwang athmen solle. Umstehende Tafel zeigt die Ergebnisse dieses Versuches.

Aus diesem und anderen ähnlichen Versuchen erhellt, dass wir im Stande sind, während eines ziemlich langen Zeitraumes,

---

[1] A. Mosso, Ueber die gegenseitigen Beziehungen der Brust- und Bauchathmung. *Dies Archiv*, 1878. S. 463.



nämlich 10—15 Minuten lang, unsere Einathmungsluft auf etwa die Hälfte reducirt zu erhalten.

Ordnungszahl der Versuche	Zahl der in 10 Minuten eingeathmeten Liter Luft	
	Normale Athmung	Willkürlich verlangsamte Athmung
1	57	—
2	58	—
3	—	33
4	65	—
5	—	32
6	63	—
7	—	31
8	56	—

III. Capitel.

Aufhören der Luxusathmung auf hohen Bergen.

Gäbe es keine Luxusathmung, so würden die Ausgiebigkeit und die Frequenz der Athembewegungen genau von den chemischen Bedürfnissen des Organismus und von den Schwankungen des Luftdruckes abhängen. Indessen ist der Mechanismus der Respiration viel constanter und minder wechselnd als die Dichtigkeitsverhältnisse unserer Athmungsluft und die Intensität der in unserem Körper vor sich gehenden Verbrennungsprocesse. — Um nun genauer den Einfluss zu erforschen, welchen die Verdünnung der Luft auf die Luxusrespiration ausübt, habe ich untersuchen wollen, wie sich die Menge der von uns inspirirten Luft ändert, wenn wir von den Piemonteser Ebene auf hoch gelegene Punkte der Alpen herübergehen.

Ich wählte zum Ziele meines Ausfluges den St. Theodulpass (Matterjoch) in der Nähe des Monte Rosa, als den höchsten Punkt, wo ich mich einige Tage mit meinen Instrumenten aufhalten konnte.

Die Herberge des St. Theodul liegt 3333 M. hoch und beträgt der Luftdruck daselbst 0·507 M., also ungefähr $^2/_3$ Atmosphaeren. Leider konnte ich auf dieser Höhe nur drei Tage verweilen. Die Beförderung der Apparate zu physiologischen Beobachtungen auf die Spitzen der Alpen und ihre Einrichtung daselbst sind so kostspielig, dass ich diese Untersuchungen habe unterbrechen müssen, da die spärlichen Privatmittel, über die ich zu meinen Studien ausserhalb des Laboratoriums verfüge, dazu nicht hinreichten.

Bei meinen auf dem St. Theodulpass angestellten Beobachtungen über die Athmung bediente ich mich zur Messung der in der Zeiteinheit inspirirten Luft der im vorigen Capitel beschriebenen Gasuhr.

Speciell zum Vergleiche der in der Ebene und der im hohen Gebirge eingeathmeten Luftmenge verfuhr ich folgenderweise: Vor allem habe ich die Gasuhr, deren ich mich bedienen wollte, gut calibrirt, um den Werth jeder Abtheilung genau zu kennen. Zu diesem Zwecke bediente ich mich des von Voit beschriebenen Verfahrens,[1] welches darin besteht, dass man ein genau bekanntes Luftvolumen durch die Gasuhr durchgehen lässt.

Als Versuchsperson wollte mir bereitwilligst der schon früher erwähnte Bediente meines Laboratoriums, Giorgio Mondo, dienen — ein kräftiger junger Mann von 26 Jahren, 1·67 M. Körperhöhe, 62·300 Kilo Gewicht und 3·500 Lungencapacität.

In Erwägung, dass ich auf den Alpen weder Tische noch sonstige Unterlagen haben konnte, um darauf die Apparate aufzustellen, habe ich, der Einfachheit halber, die vorläufigen und alle späteren Beobachtungen auf dem Fussboden vor der Gasuhr angestellt. Die Widerstände, welche der Brustkasten zu überwinden hat, um die durch die Gasuhr und die Müller'schen Ventile durchgehende Luft in die Lungen einzuführen, sind so gering, dass die den Versuchen unterworfenen Personen oft dabei einschlafen und gar die ganze Nacht hindurch tief schlafen bleiben. Nach Anlegen der Larve, welche mittels eines Bandes hinter den Ohren angebunden wurde, so dass sie sich luftdicht an das Gesicht anschmiegte, legte sich Giorgio auf die linke Seite und ich setzte das Rohr der Larve mit den Müller'schen Ventilen und der Gasuhr in Verbindung. Ich wartete 10 Minuten ab, bis Giorgio ganz ruhig war, und fing nun an, den Werth jeder Inspiration und die Zahl der Athemzüge in der Minute aufzuschreiben. Ich legte mich auf eine Decke, vor den Zeigern der Gasuhr, und verzeichnete nach einer Secundenuhr den Anfangspunkt einer ersten Reihe von Beobachtungen, welche eine halbe Stunde dauern sollte. Nach Bestimmung der anfänglichen Stellung der Zeiger, schrieb ich weiter den Werth jeder successiven Inspiration und bezeichnete im Register den Anfang jeder Minute; nach 30 Minuten machte ich wieder ein Zeichen um die Menge der in einer halben Stunde eingeathmeten Luft zu kennen.

Zunächst theile ich hier Tabellen der in Turin am 24. und 25. August angestellten Beobachtungen mit.

[1] C. Voit, Beschreibung eines Apparates zur Untersuchung der gasförmigen Ausscheidung des Thierkörpers. *Zeitschrift für Biologie.* 1875. S. 533.



Tabelle I.

Turin, den 24. August 1882, 2 Uhr Nachmittags. Zimmertemperatur 22° C.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft i. Ltrn.	Mittelwerth der Inspiration
10	23 22 20 17 17 21 20 20 22 21	4·9938	0·499
11	23 33 23 19 21 20 22 19 19 20 20	5·8794	0·534
11	22 21 22 22 26 22 21 21 24 24 21	6·0516	0·550
11	20 21 26 22 21 19 23 22 19 19 18	5·6580	0·514
12	21 23 21 20 21 23 18 19 18 20 22 22	6·0008	0·500
12	21 15 23 25 19 18 14 17 22 22 15 19	5·6580	0·471
12	18 16 18 18 21 20 21 18 18 20 19 17	5·5104	0·459
14	17 21 16 18 14 16 19 17 19 17 20 18 20 15	6·0762	0·434
13	16 18 18 22 20 17 18 21 19 20 18 19 17	5·9778	0·459
10	18 18 16 19 18 18 19 16 20 15	4·3542	0·435

Der Mittelwerth jeder Inspiration beträgt 0·485 Liter; die mittlere Athemfrequenz 11·6 in der Minute; in einer halben Stunde werden 191·88 Liter Luft eingeathmet.

Tabelle II.

Turin, den 25. August 1882, 1 Uhr Nachmittags. Zimmertemperatur 22° C.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
10	28 28 30 24 25 28 28 24 23 22	6·876	0·637
9	24 22 24 23 20 22 25 23 22	5·943	0·660
11	23 23 22 21 26 26 20 20 15 21 18	4·781	0·434
11	23 16 21 15 19 17 22 18 19 21 17	5·1168	0·455
11	24 19 20 22 19 20 18 19 20 23 24	5·5988	0·508
11	21 25 23 22 21 25 25 18 18 22 23	6·9778	0·634
10	20 24 19 20 23 22 14 15 19 20	4·8216	0·482
12	20 22 19 16 18 20 18 18 18 18 22 19	5·6088	0·467
12	17 20 17 20 22 17 22 17 16 23 20 18	5·6088	0·467
12	20 17 21 18 18 17 18 20 26 25 34 22	6·2976	0·524

Der Werth jeder Inspiration beträgt 0·526 Liter; die mittlere Athemfrequenz 10·9 in der Minute; in einer halben Stunde wurden 172·263 Liter Luft eingeathmet.

Am 31. August fuhren wir auf der Eisenbahn von Biella nach Ivrea und erreichten am Nachmittage im Wagen Châtillon im Aostathale, 566 M. über dem Meeresspiegel. Am Abend stellte ich keine Beobachtungen an. Wir übernachteten in Châtillon, und am folgenden Morgen, den 1. September, bestimme ich den Werth der mittleren Inspiration und messe die Luftmenge, welche Giorgio in einer halben Stunde einathmet. In

Tabelle III und auch in den folgenden umfassen einige Beobachtungen statt einer Minute zwei; das ist aber gleichgültig und der Leser bemerkt es sogleich.

Der Werth der mittleren Inspiration beträgt 0·480 Liter; die mittlere Athemfrequenz 11·5 in der Minute; und in einer halben Stunde athmet Giorgio 167·28 Liter Luft ein.

Um 9 Uhr Morgens brachen wir mit zwei Führern und zwei Maulthieren, auf welche die Kisten mit den Instrumenten geladen wurden, auf;

Tabelle III.

Chatillon, den 1. Sept. 1882, 8 Uhr Morgens. Zimmertemperatur 19·5 C.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
10	19 32 29 24 20 26 23 22 24 23	5·9532	0·595
12	23 23 22 20 21 23 19 20 21 22 21 19	6·2484	0·52
23	20 22 25 22 19 22 20 25 24 22 22 21 19 21 17 25 28 24 24 26 22 20 20	6·273	0·545
11	20 24 23 22 21 22 27 22 18 21 20	5·904	0·536
12	19 19 19 17 20 20 19 20 20 20 22 19	5·7564	0·479
12	18 18 18 22 19 17 18 20 20 21 20 19	5·658	0·471
12	19 19 20 18 17 18 18 19 18 11 23 19	5·3874	0·448
23	19 19 18 16 16 17 18 18 17 16 17 17 19 16 17 18 28 8 18 19 16 13 23	4·9569	0·431
12	20 18 16 18 17 18 19 18 16 17 20 18	5·289	0·440
12	18 13 21 17 19 20 17 18 19 18 18 18	5·3136	0·442
12	17 17 16 20 20 18 17 18 16 15 19 18	5·1906	0·432
24	16 17 19 19 18 18 14 15 25 19 18 16 18 16 19 18 17 15 16 18 20 17 19 15	5·1783	0·431

wir hielten nur kurze Zeit in Val Tournanche und im Hôtel des Monte Cervino an, um zu essen, und gegen 5 Uhr Nachmittags waren wir am Fusse des Gletschers von Val Tournanche angekommen. Ein dichter Nebel machte den Weg über den Gletscher ziemlich beschwerlich. Um $^{1}/_{2}$9 Uhr Abends kamen wir in der Herberge des St. Theodul so müde an, dass es mir unmöglich war, einen Versuch anzustellen. Wir tranken ein Glas warmen Weins, wärmten uns am Feuer und genossen etwas Kaffee. Wir hatten beide das Fieber. Eine Stunde nach der Ankunft auf dem Matterjoch hatte Giorgio im Rectum eine Temperatur von 38·7 und ich 38·3. Die Nacht schliefen wir wenig und schlecht, obgleich die hölzerne Hütte sehr bequem und die Betten gut waren. Wir litten an Leibschmerzen und hatten starken Durst. Draussen sank die Temperatur auf mehrere Grade unter Null.

Am folgenden Morgen, den 2. September, brachte ich, bevor noch Giorgio aufgestanden war, die Instrumente in Ordnung, legte ihm die Larve auf's Gesicht und stellte die zwei folgenden Versuche unter ähnlichen Bedingungen an, wie vorher in Turin und in Châtillon.

Tabelle IV.

St. Theodulpass, den 2. September 1882, 7 Uhr 30′ Morgens. Zimmertemperatur 7·5° C.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
13	17 16 19 20 22 19 19 19 20 22 20 19 17	6·1254	0·471
14	18 22 20 18 20 20 20 20 20 20 20 20 19 17	6·7404	0·487
16	19 20 20 18 20 19 18 21 21 18 17 17 19 20 22 20	7·5014	0·468
14	19 19 21 22 19 18 19 20 19 18 21 20 20 20	6·7650	0·483
15	20 18 20 20 20 19 19 18 19 25 21 21 20 19 20	7·2078	0·480
13	22 20 19 19 20 20 19 18 18 20 18 18 18	6·1254	0·471
15	18 17 19 19 18 17 17 18 18 22 16 19 16 19 18	6·6666	0·444
15	17 19 16 20 20 17 18 18 17 20 18 19 17 16 19	6·6666	0·444
15	17 20 18 19 19 18 18 18 19 18 19 20 18 19 16	6·7896	0·452
14	20 18 17 20 18 17 19 21 20 16 16 8 31 19	6·3960	0·456
15	18 21 20 19 18 17 18 19 20 22 21 20 17 20 20	7·1349	0·475
15	10 17 18 17 20 20 18 20 16 20 21 18 17 19 19	6·6420	0·442
14	19 17 20 20 16 21 20 19 17 16 18 19 19 19	6·3960	0·456
15	20 15 20 18 18 16 18 19 21 16 19 15 15 20 20	6·6429	0·442

Der mittlere Werth der Inspiration beträgt 0·462 Liter; die mittlere Athemfrequenz 14·5 in der Minute; die Menge der in einer halben Stunde eingeathmeten Luft 199·26 Liter.

Tabelle V.

Den 2. September 1882, 8 Uhr 26′ Vormittags.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
14	18 18 19 17 18 21 20 19 17 18 20 21 17 18	6·4106	0·457
13	20 19 18 18 18 17 17 18 20 16 21 18 15	5·781	0·444
14	19 21 16 18 16 20 20 19 16 18 21 18 20 16	6·8468	0·453
14	17 18 19 18 20 18 17 20 17 18 18 17 17 18	6·1992	0·442
27	20 21 19 15 20 20 17 18 20 14 18 23 20 17 15 18 17 21 17 18 20 19 20 18 18 18 19	6·150	0·455
13	20 16 19 20 56 10 15 22 26 22 19 17 19	6·9126	0·531
13	20 20 15 17 18 20 19 16 18 17 19 20 20	5·8794	0·452
14	16 17 18 19 18 18 14 21 19 19 19 17 18 18	6·1746	0·441
13	19 15 19 20 18 18 16 17 18 17 14 19 21	5·5856	0·429
15	19 17 17 16 19 18 18 18 18 18 22 16 16 17 22	6·6666	0·444
14	19 16 20 17 18 18 17 20 17 20 17 17 18 18	6·1992	0·442
29	18 17 18 17 18 21 17 15 17 18 19 18 20 18 17 20 20 20 20 20 16 19 18 17 18 19 19 19 20	6·5436	0·451

Der mittlere Werth der Inspiration beträgt 0·453 Liter; die mittlere Athemfrequenz 13·7 in der Minute; die Menge der in einer halben Stunde eingeathmeten Luft 189·42 Liter.

Giorgio war während dieser zweiten Beobachtungsreihe wie schläfrig; er schloss oft die Augen und ich musste ihn zu wiederholten Malen ersuchen, er möge nicht einschlafen.

Am Nachmittage bestiegen wir das Breithorn (4148 Meter über dem Meeresspiegel); es war dies für Giorgio, welcher zum ersten Male auf den Gletschern war, ein sehr mühsamer Gang. Als wir Abends auf den St. Theodul zurückkamen, war er wirklich erschöpft; um 6 Uhr legte er sich zu Bette und nachdem er eine halbe Stunde ausgeruht, stellte ich folgende Beobachtung an.

Tabelle VI.

Nach dem Heruntersteigen vom Gletscher des Breithorns, den 2. September 1882, 6 Uhr 25′ Nachmittags. Zimmertemperatur 10·5°

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
18	12 19 20 19 16 17 17 15 20 16 17 12 20 15 15 20 15 15	7·380	0·410
20	15 16 19 16 17 17 15 18 18 17 17 16 19 17 18 19 17 14 20 18	8·4878	0·421
19	17 15 17 18 15 20 15 18 17 15 20 18 17 17 16 18 18 19	7·626	0·402
16	16 19 16 19 20 20 19 17 19 22 19 19 20 15 20 20	7·380	0·461
18	19 16 15 18 22 16 16 16 18 20 19 19 17 16 18 15 16 17	7·5768	0·420
17	17 17 18 20 17 18 20 15 17 18 17 18 17 18 20 8 17	7·4292	0·436

Der Werth der mittleren Inspiration beträgt 0·425 Liter; die mittlere Athemfrequenz 18 in der Minute. Die Menge der in einer halben Stunde eingeathmeten Luft 239·78 Liter.

Auch ich war sehr müde, ich hatte den Appetit verloren und ich fühlte mich unwohl. Diese Beobachtung ist mit den anderen zu vergleichen. Sie zeigt uns, wie nach einer grossen Anstrengung die Athembewegungen häufiger werden.

In der Nacht schliefen wir beide so ziemlich. Doch am Morgen des 3. September waren bei Giorgio die Gesichtshaut geschwollen und die

Lider oedematös. Wir stellten einen weiteren Versuch an. Ich glaube kaum bemerken zu müssen, dass ich darauf achtete, nie die Apparate zu verschieben und alle Vorsichtsmaassregeln traf, um jede Fehlerquelle auszuschliessen, damit alle Beobachtungen unter einander vergleichbar wären.

Tabelle VII.

St. Theodulpass, den 3. September 1882, 9 Uhr Morgens. Zimmertemperatur 7° C.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
13	18 17 18 19 20 23 21 21 19 20 21 18 22 17	6·6404	0·510
15	23 18 18 18 17 19 20 17 18 20 20 19 20 17 17	6·9126	0·460
14	17 20 20 20 19 19 19 20 18 20 19 19 22 20	6·6912	0·477
14	20 15 18 19 20 18 20 18 19 21 22 22 18 23	6·7896	0·484
13	18 19 19 19 21 19 17 15 19 20 18 19 19	5·9532	0·458
14	15 18 20 20 20 19 18 15 20 21 19 19 18 19	6·4206	0·458
14	21 18 20 17 21 21 19 19 18 17 18 20 19 18	6·5436	0·467
15	18 15 20 18 17 15 16 18 19 17 15 19 16 19 17	6·3714	0·424
16	19 18 16 18 21 17 19 18 18 18 18 19 15 17 18 20	7·1094	0·444
14	16 18 16 17 17 18 22 16 20 16 19 19 16 17	6·0762	0·434

Der mittlere Werth der Inspiration beträgt 0·461 Liter; die mittlere Athemfrequenz 14·2 in der Minute; in einer halben Stunde werden 199·26 Liter Luft eingeathmet.

Das Erysipel der Gesichtshaut, das sich bei Giorgio eingestellt hatte, nahm so rasch zu, dass wir uns am Nachmittag entschlossen, den St. Theodulgletscher zu verlassen, mit der Hoffnung, ein anderes Mal hinaufzukommen mit den nöthigen Vorsichtsmaassregeln, um sich am Orte länger aufhalten zu können. Am Abend stiegen wir nach Val Tournanche herunter und am folgenden Tage trennten wir uns in Châtillon.[1]

Am 6. September komme ich in Turin an und stelle an Giorgio, bevor er aus dem Bette aufgestanden ist, folgende Beobachtungen an.

---

[1] Während dieses Ausfluges stellte ich über den Puls der Carotis und den des Fusses, über die Bauch- und Brustathmung und über die Körpertemperatur graphische Beobachtungen an, die in meiner demnächst erscheinenden Arbeit über die Ermüdung veröffentlicht werden sollen.



Tabelle VIII.

Turin, den 6. September 1884, 8 Uhr Morgens. Zimmertemperatur 21°.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
14	8 14 15 16 11 18 13 15 16 16 16 16 15 15	5·0184	0·359
14	16 15 16 14 13 14 13 15 16 16 14 14 15 13	5·0184	0·358
16	14 15 16 14 13 14 12 14 14 18 14 12 9 18 13 13	5·3628	0·335
28	16 13 15 14 15 16 15 17 15 12 14 13 15 14 14 12 13 15 11 14 15 15 14 14 12 14 14 14	4·8585	0·347
14	15 15 14 12 14 12 13 15 16 14 15 12 13 14	4·7724	0·340
15	11 15 15 15 11 14 12 13 14 15 14 12 15 10 11	4·8462	0·323
15	14 15 18 13 13 12 12 12 12 14 16 12 13 14 12	4·8462	0·323
16	13 14 12 13 12 11 11 11 12 14 14 13 13 14 11 11	4·8954	0·305
15	14 15 14 14 14 13 19 8 12 11 12 14 14 18 12	4·8954	0·326
15	15 13 13 14 18 12 13 13 14 13 13 13 13 12 13	4·8462	0·323
16	13 14 15 13 18 12 18 13 12 15 15 12 12 11 13 12	5·1168	0·319
14	15 13 15 13 12 12 12 35 8 15 14 13 14 13	4·6494	0·332
15	18 16 18 14 13 15 15 14 15 13 15 15 15 15 17	5·4858	0·365
14	15 16 17 17 15 15 15 15 12 15 18 13 16 16	5·1660	0·369
14	15 12 18 18 13 14 16 14 15 15 15 15 13 15	4·8708	0·346
16	13 15 14 13 14 14 15 16 13 18 12 15 13 15 12 13	5·4120	0·338
14	12 18 12 16 16 14 14 12 14 18 14 17 15 16	4·8708	0·346
12	24 11 15 17 18 13 11 13 11 11 15 13	4·7232	0·393
15	12 12 13 15 11 16 18 16 15 14 14 15 17 14 19	5·4366	0·362

Der mittlere Werth der Inspiration beträgt 0·342 Liter; die mittlere Athemfrequenz 14·63 in der Minute; in einer halben Stunde wurden 134·00 Liter Luft eingeathmet.

Möglicherweise muss die starke Verminderung, welche wir bei dieser letzteren Beobachtung in der Menge der eingeathmeten Luft wahrnehmen, dem Umstande zugeschrieben werden, dass Giorgio sich im Zustande tiefer Ruhe befand nachdem er die Nacht gut geschlafen hatte und während er noch schläfrig zu Bette blieb. Die in den nachfolgenden Tagen angestellten Versuche beweisen indessen, dass der Werth der mittleren Inspiration einige Stunden nach dem Aufstehen auch bei vollkommener Ruhe viel grösser ist.

Bei diesem Versuche ist die Respirationsfrequenz viel grösser als in der Norm, ohne dass ich den Grund hiervon hätte ermitteln können. Giorgio sagte mir, dass er am Tage vorher in seinem Dorfe gewesen war, wo ein Fest stattfand, und dass er 18 km zu Fuss gemacht hatte. Weiter erfuhr ich nichts.

Tabelle IX.

Turin, den 8. September 1882, 11 Uhr Vormittags. Zimmertemperatur 21° C.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
10	28 23 21 22 24 23 23 22 22 20	5·6088	0·506
11	20 18 19 24 24 19 18 20 23 15 19	5·3874	0·489
12	21 21 23 18 17 17 18 17 15 19 17 18	5·4366	0·453
11	19 21 22 18 21 19 20 24 18 20 22	5·5204	0·501
11	23 20 16 21 20 27 24 22 24 28 22	6·0762	0·552
12	17 18 20 24 21 17 18 16 19 20 19 21	5·6580	0·471
12	19 22 20 20 21 23 24 20 20 22 22 21	6·1684	0·514
11	20 21 21 23 21 23 21 23 24 23 24	6·0024	0·545
11	27 25 25 23 24 24 18 22 19 22 24	6·2238	0·565
11	19 21 25 16 18 25 22 23 25 24 23	5·6826	0·516

Der mittlere Werth der Inspiration beträgt 0·511 Liter; die mittlere Athemfrequenz 11·2 in der Minute; die in einer halben Stunde eingeathmete Luftmenge 171·024 Liter.

Tabelle X.

Turin, den 8. September 1882, 11 Uhr 30 Minuten Vormittags.

Zahl der Athemzüge in der Minute	Zahl der während einer Athembewegung vom Zeiger der Gasuhr durchlaufenen Theilungen	Menge der in der Minute eingeathmeten Luft in Litern	Mittelwerth der Inspiration
10	23 22 20 17 17 21 20 22 21	4·9938	0·499
11	23 33 23 19 21 20 19 19 20 20	5·8794	0·534
11	22 21 22 22 26 22 21 24 24 21	6·0516	0·550
11	20 21 26 22 21 19 22 19 19 18	5·6580	0·514
12	21 23 21 20 21 23 19 18 20 22 22	6·1008	0·508
12	21 15 23 25 19 18 17 22 22 15 19	5·6580	0·471
12	18 16 18 18 21 20 18 18 20 19 17	5·5004	0·458
14	17 21 16 18 14 16 17 19 17 20 18 20 15	6·0762	0·434
13	16 18 18 22 20 17 21 19 20 18 19 17	5·9778	0·459
10	18 18 16 19 18 18 16 20 15	4·3542	0·435

Der mittlere Werth der Inspiration beträgt 0·486 Liter; die mittlere Athemfrequenz 16·6 in der Minute; die in einer halben Stunde eingeathmete Luftmenge 169·128 Liter.

Bevor wir unsere Beobachtungen zusammenfassen, müssen wir die mittels der Gasuhr gemessenen Luftvolumina auf den gleichen Druck und die gleiche Temperatur zurückführen, da sonst die Ergebnisse der auf verschiedenen Höhen und bei verschiedenen Temperaturen angestellten Untersuchungen gar nicht unter einander vergleichbar wären.

Unter Anwendung der Bunsen'schen Formel habe ich die in einer halben Stunde eingeathmeten Luftvolumina auf 1 m Quecksilberdruck und auf die Temperatur 0° zurückgeführt.[1] Die in der Spalte B der folgenden Tafel stehenden Werthe verwandeln sich in die entsprechenden Werthe der Spalte C.

Tabelle XI.

Beobachtungsort	A. Mittlere Athemfrequenz in der Minute	B. Zahl der in einer halben Stunde eingeathmeten Liter Luft	C. Zahl der in einer halben Stunde eingeathmeten Liter Luft auf 1 m Quecksilberdruck und 0° C. zurückgeführt.
Turin, den 24. August	11·6	191·88	129·48
Turin, den 25. August	10·9	172·26	119·47
Châtillon	11·5	167·28	111·07
St. Theodulpass, den 2. September .	14·5	199·26	98·150
St. Theodulpass, den 2. September .	13·7	189·42	93·109
do. Rückkehr vom Breithorn .	18·0	239·78	118·110
St. Theodulpass, den 3. September .	14·2	199·26	98·150
Turin, den 6. September	14·6	134·00	85·75
Turin, den 8. September	11·2	171·02	119·26
Turin, den 8. September	11·6	169·12	117·78

Aus den Zahlen der Spalte C ersieht man, dass auf der Höhe von 3333 m viel weniger Luft eingeathmet wird, als in Turin und in Châtillon. Diese Thatsache ist interessant, denn sie liefert einen neuen Beweiss dafür, dass beim Menschen wirklich, wie im vorigen Capitel entwickelt wurde, eine Luxusathmung vorkommt. Bei dem gewöhnlichen Luftdrucke von 740 mm, wie wir ihn in Turin und noch besser auf dem Meeresspiegel haben, wird viel mehr Luft eingeathmet als für die Bedürfnisse des Körpers erforderlich. An Orten, welche über 3000 m hoch liegen, wird eine viel geringere Gewichtsmenge Luft eingeathmet, und dennoch wird der Organismus dadurch nicht afficirt und hilft sich durch eine leichte Vermehrung der Athemfrequenz ab, womit die nöthige Menge Sauerstoff dem Blute zugeführt wird.

Halten wir es als erwiesen fest, dass die Gewichtsmenge Luft, die wir für gewöhnlich einathmen, um Vieles abnehmen kann, ohne dass der Or-

[1] R. Bunsen, *Gasometrische Methoden*. Braunschweig 1877. S. 44.

ganismus die geringste Beschwerde empfinde, so begreift man, dass es in den Bergen eine Grenze geben muss, wo die Luxusathmung aufhört und wo jede Variation des Luftdruckes auf die Athembewegungen einen Einfluss ausüben wird. In dem Maasse als wir vom Meeresspiegel in die Höhe kommen, wird die Luxusathmung durch die Verdünnung der Luft vermindert; aber unterhalb einer gewissen Grenze haben die Variationen des Luftdruckes keinen Einfluss auf die Frequenz und Ausgiebigkeit der Athembewegungen.

Hat man einmal das Vorkommen der Luxusathmung erkannt, so begreift man, wie lästig es wäre, wenn wir bei jeder Aenderung des Luftdruckes und jeder Aenderung des Niveau an der Oberfläche der Erde die Frequenz oder die Ausgiebigkeit der Athembewegungen zu ändern gezwungen wären.

Die Unabhängigkeit des Mechanismus der Respiration von den chemischen Bedürfnissen des Organismus ist eine Nothwendigkeit, weil sie innerhalb gewisser Grenzen ein Ersparniss an functionellen Leistungen bedingt und die regulirenden Vorrichtungen unseres Organismus vereinfacht.

Ich habe noch keine Versuche angestellt, um die Höhe über dem Meeresspiegel zu bestimmen, auf welcher die Luxusathmung aufhört.

Jedenfalls liegt der St. Theodulpass oberhalb jener Grenze, und ich habe noch keine Versuche angestellt, um zu ermitteln, auf welcher Höhe über dem Meeresspiegel die Luxusathmung aufhöre. Auf dem St. Theodulpass ist die Luft schon zu sehr verdünnt, und sucht der Organismus dem geringeren Gewichte der Luft durch häufiger wiederholte Athemzüge abzuhelfen, wie wir in der Spalte A der Tabelle XI sehen. Nun kommt es darauf an, zu sehen, ob auch die Ausgiebigkeit der Athembewegungen grösser wird. Mit anderen Worten wir müssen auf Grund der angestellten Beobachtungen entscheiden, welche Aenderungen die Athmung des Menschen auf grossen Höhen erfahre und wie das Blut die ihm nöthige Sauerstoffmenge erhalte.

Als ich diese Untersuchungen im September 1882 anstellte, waren die Beobachtungen von Fränkel und Geppert über die Athmung in verdünnter Luft[1] noch nicht veröffentlicht worden.

Diese Autoren geben an, dass wenn man einen Hund in einem wohl gelüfteten Raume athmen lässt, worin man allmählich den Luftdruck vermindert, bis zur Grenze von 400 mm Druck keine Aenderungen in den Verrichtungen des Thieres wahrgenommen werden.

---

[1] Fränkel et Geppert, Sur la respiration dans l'air raréfié. *Comptes rendus* etc. 1883. t. XCVI. p. 1740.



Aus dieser Mittheilung ist nicht zu ersehen, ob die Verfasser graphische oder volumetrische Beobachtungen angestellt haben; sie drücken sich zu bündig aus; sie sagen wörtlich: „en faisant respirer un chien dans un espace bien aéré, en même temps qu'on diminue lentement la pression de l'atmosphère, il ne se produit aucun changement jusqu' à une raréfaction de l'air à 400^{mm} environ. Si l'on continue à diminuer la pression barométrique jusqu' à $^1/_3$ de la valeur normale, la respiration devient plus fréquente et plus profonde. — Plus tard une grande faiblesse musculaire et une envie de dormir se manifestent et amènent l'animal à une somnolence complète, en même temps que la dyspnée cesse presque entièrement".

Aus unseren Beobachtungen ergiebt sich deutlich, dass auf dem St. Theodulpass der Organismus frequenter athmet, um den Schaden zu decken, der ihm aus der Verdünnung der Luft erwachsen würde.

Davon konnte ich mich überzeugen, indem ich die Athemzüge des Giorgio wiederholt beobachtete und zählte bevor er erwachte. Am letzten Tage unseres Aufenthaltes auf dem St. Theodulpass betrug seine Athemfrequenz im Durchschnitt 14 in der Minute, während sie in Turin etwa 11 in der Minute betrug.

Viele Aerzte empfehlen gewissen Kranken den Bergaufenthalt, weil sie voraussetzen, dass in den Regionen, wo die Luft stärker verdünnt ist, die Lungen mechanisch thätiger sein müssen und sich stärker ausdehnen. Ich glaubte früher ebenfalls, dass auf den Bergen die Inspiration tiefer werde. Die ersten graphischen Beobachtungen, die ich auf dem Monviso anstellte, erlaubten mir keinen sicheren Schluss hierüber zu ziehen. Um zu entscheiden, ob sich der Thorax auf dem St. Theodulpass stärker erweitere, kann man zunächst annehmen, dass die Luft, welche bis in die letzten Verzweigungen der Bronchien gelangt auch auf dem St. Theodulpass allmählich die Temperatur von 37° C. erlangt.[1] Da die Differenzen zu klein sind um in Betracht zu kommen, so genügt es, die unter verschiedenen Drücken in einer halben Stunde eingeathmeten Liter Luft auf 37° C. umzurechnen und diese Volumina unter einander zu vergleichen, welche die wirkliche Summe der in einer halben Stunde erfolgten Erweiterungen des Brustkorbes darstellen.

Auf folgender Tabelle sind solche Werthe für die Temperatur 37° C. und für die den Beobachtungsorten entsprechenden Luftdrücke angegeben. In der letzten Spalte habe ich die Werthe der auf 0° und 1^m Druck zurückgeführten mittleren Inspiration zusammengestellt, damit man besser den grossen Unterschied sehe, welchen die Verdünnung der Luft in der von uns auf hohen Bergen eingeathmeten effectiven Luftmenge hervorbringt.

---

[1] Valentin, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen.* 1847. Bd. I. S. 33.

Tabelle XII.

Beobachtungsort	Volum der eingeathmeten Luft, sowie dasselbe in der Lunge, bei 37° C sein musste	Wert der mittleren Inspiration bei 0° C und 1 m Luftdruck
Turin, den 24. August	202·414	0·379
Turin, den 25. August	181·835	0·365
Châtillon	177·994	0·318
St. Theodulpass, den 2. September	220·775	0·225
St. Theodulpass, den 2. September	209·871	0·226
Heruntersteigen vom Breithorn	250·970	0·208
St. Theodulpass, den 3. September	221·138	0·227
Turin, den 6. September	130·202	0·354
Turin, den 8. September	181·267	0·356
Turin, den 8. September	179·023	0·346

Nehmen wir die erste auf dem St. Theodulpass angestellte Beobachtung und vergleichen wir dieselbe mit der am 25. August in Turin angestellten, weil diese zwei Beobachtungen sich am meisten dem Mittel der an beiden Orten angestellten Beobachtungen annähern. Wir finden, dass in Turin 180 Liter Luft von 37° C. durch die Lungen gegangen sind, während auf dem St. Theodulpass 220 Liter von 37° C. die Lungen passirten. Doch die Athemfrequenz betrug in Turin nur 10·0 in der Minute, während sie auf dem St. Theodulpass 14·5 in der Minute ausmachte; folglich machte Giorgio auf dem St. Theodulpass in einer halben Stunde 108 Athemzüge mehr als in Turin.

Theilen wir 220·775 durch 14·5 × 30 = 435, so finden wir, 0·5075, was den Werth der effectiven mittleren Inspiration auf dem St. Theodulpass darstellt.

In Turin gehen mit 327 Athemzügen in einer halben Stunde 181.835 Liter Luft von 37° C. durch die Lungen. Auf dem St. Theodulpass treiben 327 Inspirationen durch die Lungen nur 165·952 Liter Luft von 37° C. Also sind die Inspirationen auf dem St. Theodulpass kleiner, und zwar betrug die Differenz auf 327 Athemzüge 36·48 Liter Luft.

Mithin fehlt durchaus jener mechanische Effect und jene stärkere Erweiterung der Lungen, die, wie man voraussetzte, beim Athmen auf hohen Bergen stattfinden sollten.

Es giebt beim Menschen eine Luxusathmung, welche in dem Maasse abnimmt, als die Luft dünner wird.

Der Organismus deckt den aus der Luftverdünnung erwachsenden Ausfall durch häufigeres Athmen, nicht durch tiefere und ausgiebigere Inspirationen.

IV. Capitel.
Remittirendes und intermittirendes Athmen.

Wenn die Erscheinung der periodischen Athmung intensiver wird, so stellen sich Nachlassperioden ein, während welcher die Athembewegungen viel kleiner sind als in der Norm. Es giebt gleichsam eine Remittenz in den Athmungsfunctionen. Nimmt die Erscheinung der periodischen Athmung noch weiter zu, so kommt es zu einer wahren Intermittenz, indem sich Pausen einstellen, während welcher die Athembewegungen ganz aufgehoben sein können. Die Unterbrechung der Athmung kann in solchen Fällen 30, 40 und gar 50 Secunden dauern.

Bisher wurden alle diese Abänderungen der Athmung unter dem Namen des Cheyne-Stokes'schen Phaenomens zusammengefasst; doch als genügte dieser Namen nicht, fügten die Autoren oft die Bezeichnung periodische Athmung oder intermittirende Athmung hinzu, wie wenn diese Ausdrücke gleichbedeutend wären. Baas behauptet in einer neulich erschienenen Arbeit,[1] dass man sich nicht durch historische Erinnerungen oder Personennamen binden lassen, sondern die Nomenclatur durch Einführung von Namen, die das Wesen der Dinge klar ausdrücken, verbessern soll; daher schlug er für das bisher allgemein so benannte Cheyne-Stokes'sche Athmungsphaenomen die Bezeichnung „intermittirendes Athmen" oder „intermittende Respiration" vor.

Rosenbach unterscheidet zwischen der Cheyne-Stokes'schen Athmung und dem Cheyne-Stokes'schen Phaenomen,[2] und auch er hat Recht. Je mehr sich unsere Kenntnisse über eine Erscheinung erweitern, desto verwickelter kommt uns dieselbe vor und desto mehr fühlt man das Bedürfniss, das näher Zusammenhängende zu unterscheiden und zusammenzuhalten. Der Charakter dieser meiner Arbeit, worin ich eine Reihe von Erscheinungen, die früher für krankhaft gehalten wurden, für das Gebiet der Physiologie vindicire, wird es mir hoffentlich verzeihen lassen, wenn ich eine rationellere Nomenclatur vorschlage, welche ein leichteres Verständniss bei dem Studium der in der Form und dem Rhythmus der Athemzüge vorkommenden successiven Veränderungen gestattet.

Indem wir den Namen der periodischen Respiration für den anfänglichen und einfachsten Typus beibehalten, der am wenigsten von der gleichmässigen Athmung im Zustande des Wachens abweicht, werden wir zwei weiter vorgeschrittene Formen der periodischen Athmung annehmen, nämlich: die remittirende, wobei in der Pause noch eine Andeutung

---

[1] Dr. J. Herm. Baas, Ueber intermittirendes Athmen. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* 1874. S. 609.

[2] Rosenbach, *Real-Encyclopädie.* 1880. Bd. III. S. 151.

leichter Athembewegungen zu erkennen ist; und die intermittirende, wo die Unterbrechung der Respiration vollkommen ist und während einer kürzeren oder längeren Zeit alle Bewegung des Thorax und des Zwerchfells ausbleibt.

Ich werde mit den am Menschen angestellten Beobachtungen anfangen und dabei zunächst die minder typischen Formen aufführen. Ich gebe hier Fig. 8 und 9, Taf. II, zwei hinter einander geschriebene Zeilen einer an Giorgio Mondo erhaltenen Aufzeichnung der Bauchathmung. Es war an einem Julitage, um 2 Uhr Mittags. Giorgio lag schlummernd, auf einem Tische ausgestreckt, mit einem um das Abdomen geschnallten Pneumographen. Auch hier, wie in den vorhergehenden Aufzeichnungen, treten Schwankungen auf, welche als der einfachste Typus der periodischen Athmung anzusehen sind.

Insbesondere will ich noch auf die bei *M* Fig. 9, Tafel II, zu Stande kommende ganz kurze Pause der Athmung aufmerksam machen. Im Schlafe ist eine momentane Unterbrechung der Athembewegungen eine ziemlich gewöhnliche Erscheinung, und ich muss es als durchaus physiologisch betrachten, wenn im Schlafe, neben den vorerwähnten Schwankungen auch völlige Unterbrechungen vorkommen, gleichsam als bliebe eine Athembewegung aus.

Als ich das erste Mal diese Erscheinung beobachtete, hatte ich den Verdacht, dass die Athembewegungen wegen einer Schlingbewegung ausgeblieben wären; doch konnte ich mich leicht überzeugen, dass diese Vermuthung unrichtig war.

Viel auffälliger erscheint die Intermittenz während des Schlafes eines 70jährigen Greises, Namens Talice. Dieser ist trotz seinem Alter ein noch rüstiger Mann und zeigt keine Spur von krankhaften Veränderungen im Herzen, in den Lungen oder sonst in irgend einem Organe. Nun bietet derselbe während des Schlafes Pausen dar, welche 25″ bis 30″ dauern und während welcher jede, auch die geringste Andeutung der Athembewegungen des Thorax und des Zwerchfells fehlt.

Die Figg. 12, 13 und 14, Taf. III, stellen drei in der Nacht des 3. Juni hinter einander entworfene Zeilen der Brustathmungscurve dieses Mannes dar. Bei der Betrachtung der Aufzeichnung 13 sieht man mit Erstaunen wie lange Pausen sich in der Athmung einstellen können, ohne dass die chemischen Functionen des Organismus dabei leiden. Die Regelmässigkeit der Athmung nach der Pause lässt sich nur durch die Erwägung erklären, dass wir auch während des Schlafes eine überflüssige Menge Luft einathmen und dass die chemischen Bedürfnisse des Körpers eine viel geringere Ventilation erfordern. Ist es einmal festgestellt, dass es wirklich eine Luxusathmung giebt, so erscheint die Verknüpfung zwischen der Thätigkeit des Respirationscentrums und den in unseren Körpergeweben vor sich gehenden

chemischen Processen nicht mehr so eng und unmittelbar, als es die Physiologen früher glaubten. Wenn während des Schlafes auch die lebenswichtigsten Nervencentren in ihrer continuirlichen Arbeit nachzulassen streben, so begreift man, dass eine ganz kurze Ruhe derselben für den Chemismus der Respiration ganz ohne Folgen bleiben kann.

In der Zeile 14 in *A* erfolgt eine starke Remission, während welcher die Athembewegungen beinahe verschwinden und kaum drei Athemzüge spurweise angedeutet erscheinen. In *B* bewegt der Mann den Kopf, und darauf erhält sich die Athmung während einer Viertelstunde vollkommen regelmässig, wie in dem übrigen Theile der Fig. 14 zu sehen ist.

Auch hier ist es ganz augenscheinlich, dass während des Schlafes die Ausgiebigkeit der Athembewegungen stark abnimmt; denn in der Zeile 14, nach *B*, wird die Athmung plötzlich viel ausgiebiger, obgleich sich der Mann ganz ruhig verhielt.

Bei anderen Beobachtungen, sah ich Intermittenzen mit noch längeren Pausen. In der Aufzeichnung 15, Taf. III, die in der Nacht des 6. Juni mittels eines um den Thorax geschnallten Marey'schen Pneumographen erhalten wurde, sieht man die beiden Typen der remittirenden und der intermittirenden Athmung mit einander abwechseln. Die Athemfrequenz ist normal: 14 Athemzüge in der Minute. Die Aufzeichnung 15 beginnt mit einer vollständigen Unterbrechung der Athmung, welche mehr als 30 Secunden dauert; alsdann folgen sieben Athemzüge von normaler Ausgiebigkeit, worauf eine Remission eintritt; dann kommt eine Periode stärkerer Thätigkeit, gefolgt von einer längeren Remission, während welcher die Athembewegungen sehr flach erscheinen, und dann wieder eine neue Periode grösserer Intensität der Athembewegungen, auf welche, nach einigen Unregelmässigkeiten des Rhythmus, ein völliger Stillstand folgt. In der zweiten Hälfte der Aufzeichnung sieht man noch vier lange Pausen.

Es giebt überhaupt keine Beziehung zwischen der Dauer der Pausen und der Ausgiebigkeit der nachfolgenden Athemzüge. Diese Pausen sind um so interessanter, als nach ihnen alle Verstärkung der Athemzüge fehlt, die auf das Bestreben des Organismus hindeutete, den etwa aus der Unterbrechung der Athmung erwachsenen Nachtheil auszugleichen.

Diese Erscheinungen stehen in Wiederspruch zu den von Traube[1] und Filehne[2] und anderen zur Erklärung des Cheyne-Stoke'schen Athmungsphänomens.

[1] L. Traube, Zur Theorie des Cheyne-Stokes'schen Athmungsphaenomens. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1874. S. 211.

[2] W. Filehne, Das Cheyne-Stokes'schen Athmungsphaenomen. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1874. S. 152. 165. 404. 435.

Nach den Pausen fehlt die ansteigende Scala in der Tiefe der Inspirationen, und in vielen Fällen fehlt auch die absteigende Scala der Cheyne-Stokes'schen Perioden: die Intermittenz beginnt in der Mehrzahl der Fälle ganz plötzlich, und dieser Umstand ist sehr belangreich für die Auffassung die wir in dieser Arbeit entwickeln.

Die remittirende und die intermittirende Athmung sind auch im physiologischen Zustande keineswegs als seltene Ausnahmen zu betrachten. Ich besuchte zu wiederholten Malen nach Mitternacht die Schlafräume der hiesigen Siech-Anstalt (Ospizio di carità) und sah, dass bei schlafenden Greisen die intermittirende Athmung sehr gewöhnlich ist. Ebenso fand ich, bei meinen häufigen Besuchen im Findelhause, diese Athmungsart sehr häufig während des Schlafes der Kinder. Leider fehlte mir die Zeit zu statistischen Untersuchungen über diesen Gegenstand. Meine genaueren Beobachtungen und Versuche wurden sämmtlich an Personen angestellt, die mein Laboratorium besuchten, und obgleich es sich um einen beschränkten Bekanntenkreis handelte, fand ich diese Erscheinungen sehr ausgesprochen an Dr. Roth, Hrn. Ruffini, Dr. Albertotti, Stud. Rondelli und an dem vorerwähnten Laboratoriumsdiener, Giorgio Mondo, die sämmtlich kräftige Männer sind und das 30. Lebensjahr noch nicht erreicht haben. Bei Greisen und Kindern sind diese Erscheinungen noch häufiger. An meinem Vater habe ich während des Schlafes so lange Intermittenzen beobachtet, dass die Respirationspause die Dauer von 40 bis 50″ erreichte.

In der Aufzeichnung 15, Taf. IV, sieht man gute Beispiele von intermittirendem und remittirendem Athmen. Schon die Unregelmässigkeit, mit welcher die Pausen und die Reihen ununterbrochener Athemzüge aufeinanderfolgen, würde zum Nachweise genügen, dass es sich hier um eine nervöse Erscheinung handelt und dass die Athembewegungen während des Schlafes nicht ausschliesslich durch die Bedürfnisse der chemischen Vorgänge des Organismus geregelt und unterhalten werden.

Bei allen diesen Beobachtungen habe ich mir stets eine Vorstellung darüber zu verschaffen gesucht, welche Ausgiebigkeit die normale Inspiration in der entsprechenden Periode des Schlafes besass. Dieser Werth giebt hier das Maass ab. Wenn wir sehen, dass nach den Pausen und Remissionen die nachfolgenden Athemzüge den Werth der normalen Athmung nicht übertreffen, so werden wir uns von dieser Erscheinung eine ganz andere Vorstellung machen müssen, als wenn es sich zeigte, dass nach den Pausen oder Remissionen eine Compensation stattfände, der Organismus also dieser Unregelmässigkeiten gewahr würde und den Ausfall durch eine Reihe stärkerer oder frequenterer Athemzüge zu decken suchte.

In einigen Fällen jedoch besteht unstreitig nach der längsten Pausen eine wirklich dyspnoische Phase und die Athemzüge werden tiefer als sie je beim Wachen vorkommen.

Um über die Natur der während des Schlafes in der Athmung vorkommenden Perioden einige Auskunft zu gewinnen, habe ich eine Reihe von Versuchen an Hunden, Kaninchen und Tauben angestellt. Wie unter den Menschen, so sind auch unter den Thieren nicht alle Individuen gleich geneigt, die Erscheinungen der periodischen Athmungen aufzuweisen.

Spritzt man bei Hunden eine Chloralhydratlösung in die Bauchhöhle oder lieber in die Jugularvene ein, so zeigen nur wenige von diesen Thieren in recht charakteristischer Weise die Intermittenz der Athembewegungen. Letztere erscheint manchmal gleich im Anfang, manchmal erst spät: oft dauert sie lange, oft nur einige Minuten, ohne dass sich eine allgemeine Regel aufstellen lässt. Diese Untersuchungen erheischen etwas Geduld, und oft ist es mir vorgekommen umsonst vier oder fünf Hunde hintereinander zu opfern, ohne einen einzigen zu finden, der nach der Injection von Chloralhydrat die Erscheinungen der periodischen Athmung dargeboten hätte.

Eine der ersten Aufgaben, auf welche ich meine Aufmerksamkeit lenkte, war die Erforschung des etwaigen Einflusses, welchen die Einathmung reinen Sauerstoffs auf die Perioden ausüben mochte. Die früher von W. Dohmen[1] u. A. zur Prüfung des Einflusses des Sauerstoffs auf die Athembewegungen angewandten Methoden schienen mir nicht genau genug, weil dabei der Druck des Sauerstoffs und der Inspirationsluft nicht auf Null erhalten blieb; ich zog daher vor, den ganzen Kopf des Thieres oder das Lumen der Luftröhre in eine Sauerstoff-Atmosphaere einzutauchen. Dieses Verfahren ist nicht eben sehr oekonomisch; aber ich halte es für das beste, um viele andere Uebelstände zu vermeiden: denn es ist eine der wesentlichsten Bedingungen beim Studium der Einwirkung der eingeathmeten Gase, dass der Druck = 0 erhalten bleibe.

Ich führe hier einen dieser Versuche auf.

Einem Hunde mittlerer Grösse wurden nach und nach, in kurzen Absätzen und mit aller Vorsicht, drei Gramm Chloralhydrat in 50procentiger Lösung in die Jugularvene eingespritzt. Nach etwa einer halben

[1] W. Dohmen, Untersuchungen über den Einfluss, den die Blutgase, d. i. Sauerstoff und Kohlensäure, auf die Athembewegungen ausüben. *Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium zu Bonn.*. Berlin 1865. S. 83.

Stunde treten exquisite Perioden mit langen Pausen auf. Ich führe die Tracheotomie aus und befestige in der Luftröhre eine grosse Canüle: die Perioden verschwinden für einige Minuten; die Athmung wird stärker und regelmässig, und nach und nach stellen sich wieder die Perioden ein.

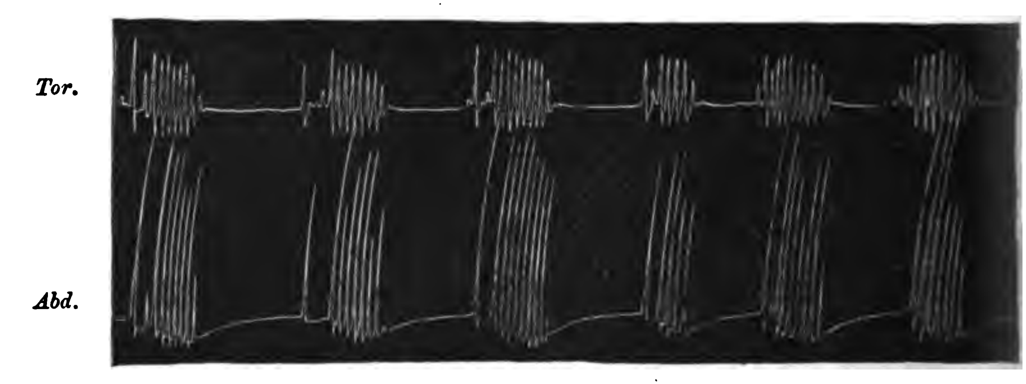


Fig. 3.
Periodische und zwar intermittirende Athmung des Thorax und des Abdomens bei einem chloralisirten Hunde.

Fig. 3 stellt die Brust- und Bauchathmung eines chloralisirten Hundes dar, gleichzeitig mittels zweier gleicher Trommeln geschrieben, die in der Weise aufgesetzt waren, dass der in der Mitte der elastischen Membran angebrachte Knopf sich leicht auf das Sternum bez. auf die Linea alba stützte. Wir sehen in dieser Aufzeichnung, wie die Perioden regelmässig

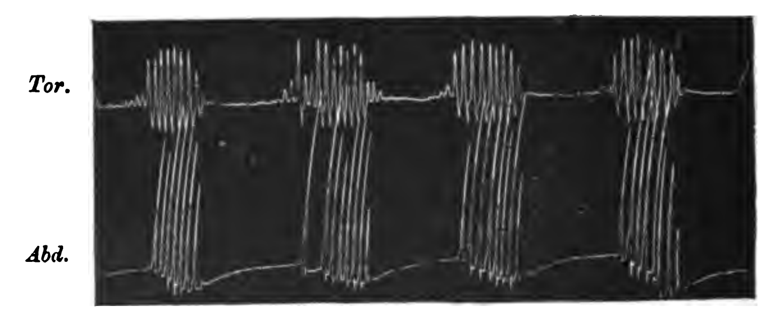


Fig. 4.
Fortsetzung der vorhergehenden Aufzeichnung, während der Hund Sauerstoff einathmet.

aufeinander folgen, in Gruppen von 6 oder 7 Athemzügen und mit langen Pausen dazwischen. — Fig. 4 zeigt das weitere Verhalten der Athmungscurven, während der Hund reinen Sauerstoff einathmet, die ihm durch

Oeffnung des Hahnes eines grossen Gasometers zugeführt wird, so dass der Sauerstoff in reichlichem Strome vor der Luftröhre anlangt, die durch eine grosse Canüle offen gehalten bleibt.

Das Thier athmete gewiss reinen Sauerstoff ein, und trotzdem erhielten sich die Perioden mit demselben Rhythmus wie zuvor und ist gar keine Einwirkung bemerklich. Hier ist hervorzuheben, dass bei diesem Hunde die Athmungsperioden nicht mit einer ansteigenden Reihe nach und nach stärkerer Inspirationen anfangen: sowohl in Fig. 4 wie in Fig. 5 sehen wir, dass nach der Pause die erste Inspiration oft noch von einem kurzen Stillstande gefolgt ist, nach welchem erst die wahre Athmungsperiode anfängt.

Bei meinen Untersuchungen über den Sauerstoff habe ich die leichte Abnahme der Ausgiebigkeit der Athembewegungen nicht wahrnehmen können, von welcher Dohmen spricht.[1]

Die Perioden der sogenannten dyspnoischen Phase werden nicht kürzer; ja, in einigen Fällen sah ich sie sogar länger werden. Diese Thatsache steht in vollem Widerspruche zu den von Traube, Filehne und allen anderen zur Erklärung der Perioden den Cheyne-Stokes'schen Athmung aufgestellten Theorien.



Fig. 5.
Versuch an einem chloralisirten Hunde, Einathmung von Sauerstoff von α bis ω.

[1] Dohmen, a. a. O. S. 127.

Fig. 5 stellt einen anderen Versuch mit Sauerstoff-Inhalationen bei einem chloralisirten Hunde, bei welchem die Athmung intermittent geworden war, dar. Es ist bemerkenswerth, dass der Thorax viel zahlreichere Bewegungen ausführt als das Abdomen: vergleicht man die Inspirationen der oberen Zeile mit denen der unteren, die dem Abdomen angehört, so sieht man, dass das Zwerchfell früher in Stillstand geräth als der Thorax. Besonders in der zweiten und dritten Periode der Respirationsthätigkeit wird die Sache sehr evident. Auf diese Unabhängigkeit der Athembewegungen des Thorax und des Abdomens muss ich in einem der nächsten Capitel zurückkommen.

Die Einathmung von Sauerstoff beginnt in α und endet in ω.

Die zweite Periode ist etwas unregelmässig, besonders in der Bauchathmung. Während der nachfolgenden Pause des Abdomens zeigt der Thorax eine ununterbrochene Reihe leichter Inspirationsbewegungen, dann folgt eine etwas längere Thätigkeitsperiode, und hierauf eine lange Pause; und endlich, während die Inhalation von Sauerstoff fortdauert, kommt eine lange Thätigkeitsperiode, gefolgt von einer Pause, die etwa um ein Drittel länger ausfällt, als die vorhergehende. In ω hört die Sauerstoffinhalation auf.

Die Thätigkeitsperiode und die Pausen der Athmung dauern unverändert fort, zum Beweise, dass ihre Verlängerung nicht der Einwirkung des Sauerstoffs zuzuschreiben sei. Die langen Pausen und die starken Thätigkeitsperioden, die man gegen das Ende der Fig. 5 sieht, halten noch etwa eine Stunde lang an, und dann wird die Athmung wieder gleichförmig und regelmässig.

Prof. Murri war der erste gewesen, der die Perioden der Cheyne-Stokes'schen Athmung durch Sauerstoffinhalationen zu modificiren gesucht hat. Doch die Bedingungen seines Versuches scheinen mir nicht derart gewesen zu sein, dass sie einen sicheren Schluss gestatteten. Es handelte sich nämlich um einen Kranken, bei dem man nur die Augenlider zu öffnen oder der nur zu sprechen brauchte, damit die Intermittenz der Athmung aufhörte. Die in der Klinik des Prof. Murri angestellten und von Dr. Sacchi[1] veröffentlichten Beobachtungen sind zwei an der Zahl und gaben entgegengesetzte Resultate: das erste Mal athmete der Kranke 15 Liter Sauerstoff ein, ohne dass irgend ein Einfluss auf die Dauer der Pausen bemerkbar wäre; im zweiten Falle verschwand die Intermittenz nach drei Minuten langer Inhalation.

Vor Murri hatte Leube in der Ziemssen'schen Klinik viel entscheidendere Untersuchungen angestellt, um zu ermitteln, ob durch die

[1] Pericle Sacchi, Aneurisma aortico accompagnato dal fenomeno di Cheyne-Stokes. *Rivista clinica.* Bologna, febbraio 1877. S. 83.



künstliche Athmung die Dauer der Pausen und die Perioden der Cheyne-Stokes'schen Respiration modificirt werden können.[1] Er reizte während der Pause die Nn. phrenici mittels des elektrischen Stromes: und es wurde auf diese Weise die ganze Periode, während welcher sonst die Athmung still stand, mit künstlichen Athemzügen ausgefüllt, ohne irgend eine Wirkung zu erhalten, ohne im mindesten die Dauer der auf einander folgenden Phasen der Ruhe und der Respirationsthätigkeit zu beeinflussen. Rosenbach wiederholte diese Versuche und gelangte zu demselben Resultate.[2]

Nachdem die Aufzeichnung Fig. 5 erhalten worden war, prüfte ich noch an demselben Hunde, ob die künstliche Respiration, mittels eines in der Trachea festgebundenen Blasebalges bewerkstelligt, die Athmungsperioden zu beeinflussen im Stande war: das Ergebniss war negativ. Diese Thatsache bestätigte ich bei vielen Versuchen an anderen Hunden. Ich halte es daher für erwiessen, dass die Sauerstoffinhalationen und die künstliche Athmung ausser Stande sind, die Perioden und Pausen der intermittirenden Athmung zu modificiren.

Bei einer Reihe von Versuchen über die Wirkung des Piridins habe ich ferner sehr deutlich beobachtet, dass tiefe Veränderungen in der Stärke der Athmung vorkommen können, welche von nervösen Einflüssen und von ausschliesslich in den Athmungscentren sich abwickelnden Vorgängen abhängen und deren Zustandekommen durch Einathmung von Sauerstoff nicht verhindert wird.

Die Schlüsse zu welchen uns diese Versuche führen ergeben sich von selbst. Ist es erwiesen, dass zwischen der Dauer der Pausen und den Thätigkeitsperioden der Athmung kein inniger Zusammenhang besteht; sieht man, dass nach dem Stillstande der Athmung eine Compensation fehlt; genügen weder die Sauerstoffinhalationen noch die künstliche Athmung um die Thätigkeitsperioden der Athmung und die Pausen derselben zu beeinflusssen, so erscheint die Frage von der periodischen Athmung unter einem neuen Lichte.

Traube, Rosenthal und Pflüger nahmen an, dass die Ursache der Athembewegungen ausschliesslich in der Erregung des verlängerten Markes durch den Sauerstoffmangel oder durch den Kohlensäureüberschuss im Blute zu suchen sei: die von mir gesammelten Thatsachen sind mit dieser Annahme unverträglich.

---

[1] W. Leube, Ein Beitrag zur Frage vom Cheyne-Stokes'schen Respirationsphaenomen. *Berliner klinische Wochenschrift.* April 1879. S. 177.

[2] Rosenbach, Zur Lehre vom Cheyne-Stokes'schen Athmungsphaenomen. *Zeitschrift für klinische Medicin.* 1880. Bd. I. Hft. III. S. 591.

Wir werden aus den in dieser Arbeit mitgetheilten Versuchen sehen, dass die Annahme eines absolut continuirlichen Zusammenhanges zwischen dem Mechanismus und dem Chemismus der Respiration unzulässig ist.

V. Capitel.

Die Athembewegungen des Gesichts, des Zwerchfells, des Brustkorbes und des Bauches sind von einander unabhängig.

Früher waren die Physiologen zu sehr geneigt, jeder Verrichtung des Organismus ein nervöses Centrum anzuweisen; jetzt dagegen führt die eingehendere Analyse zu einem entgegengesetzten Bestreben, zur Decentralisation. Je mehr die Analyse in dem Studium des localen Kreislaufs einzelner Körpertheile fortschreitet, desto offenbarer wird es, dass die Blutgefässe nicht von einem einzigen Nervencentrum abhängen. Die Untersuchungen, die ich bereits mit dem Plethysmographen angestellt,[1] hatten dargethan, dass beim Menschen mehrere vasomotorische Nervencentren anzunehmen sind, die mit einer gewissen Unabhängigkeit functioniren. In dieser Arbeit habe ich im Cap. VII Fig. 17 eine graphische Figur aufgeführt, an welcher man sieht, dass der Blutkreislauf im Gehirne durch die Einwirkung der Contractionen und der Erschlaffung der Blutgefässe eingreifende Veränderungen erleidet, während der Zustand der Gefässe im Fusse unverändert bleibt, oder entgegengesetzte Veränderungen erfährt. Diese Erscheinung sieht man oft ohne instrumentelle Hilfsmittel bei solchen Personen, bei denen die beiden Gesichtshälften ungleichmässig erröthen oder erblassen. Durch Versuche, bei welchen ich solchen Personen Amylnitrit einathmen liess, habe ich feststellen können, dass bei ihnen die Gefässlähmung centralen Ursprunges ist.

Werfen wir einen Rückblick darauf, was in der Geschichte des Respirationscentrums vor sich gegangen, so werden wir sehen, dass sich auch hier ungefähr dasselbe wiederholt hat. Interessant ist in dieser Hinsicht ein Passus von Haller. „Ita etiam medulla spinalis, ad primam vel secundam colli vertebram recisa, subito necat....Si infra sextam, pectoris motus tollitur, non perinde septi transversi....Dimidia pars dissecta alterum suumque latus resolvit....“[2] Man kann sagen, dass die Decentralisation mit diesen Worten Haller's beginnt; doch kommt

---

[1] Mosso, *Ueber den Kreislauf des Blutes im menschlichen Gehirn.* Leipzig. Veit und Comp. 1881. Cap. VII.

[2] A. v. Haller, *Elementa Physiologiae.* t. III. lib. VIII. § IX.



nachher Flourens, welcher die Physiologie in die entgegengesetzte Richtung lenkte. Er ist im vollen Umfange des Wortes ein Centralist; er nimmt an, dass das Respirationscentrum nicht grösser sei als ein Stecknadelkopf und seinen Sitz in der Mitte des Calamus scriptorius, gegen den hinteren Winkel desselben habe. Volkmann und Longet zeigten, dass man das verlängerte Mark der Länge nach spalten kann, ohne dass die Athembewegungen aufhören. M. Schiff versetzte auf Grund seiner Versuche das Respirationscentrum weiter nach oben, gegen den Ursprung des Vagus; andere wiesen demselben einen noch anderen Sitz an, und heutzutage kann man gar nicht mehr mit Bestimmtheit angeben, welches die Grenzen des Centrums seien. Der vollständigen Decentralisation ging eine Beobachtung von Brown-Séquard voran, welcher zuerst bemerkte, dass die Athmung auch nach der Zerstörung der Medulla oblongata nicht aufhörte.[1] Auch M. Schiff sah ebenfalls, dass nach Durchschneidung der Medulla oblongata auch Reizung der Haut noch Contractionen des Zwerchfells zu Stande kamen.[2] Doch legten die genannten Autoren ebenso wenig Gewicht auf diese ihre Beobachtungen wie Budge auf die von ihm angegebene aber nicht näher analysirte Thatsache, dass nach der Durchschneidung der Medulla oblongata die Athembewegungen nicht aufhören.[3] P. Bert legte bei einem 4tägigen Hunde das verlängerte Mark in der Halsgegend bloss und öffnete die Bauchhöhle, um die Bewegungen des Zwerchfells sehen zu können. Durch einen sagittalen Längsschnitt spaltete er in der Mitte das verlängerte Mark vom ersten bis zum vierten Cervicalnervenpaare, und die Contractionen des Zwerchfells dauerten auf beiden Seiten fort: zum Beweise, dass keine Faserkreuzung in der Mittellinie stattfindet. Alsdann durchschnitt er das verlängerte Mark quer über dem Ursprunge des ersten Cervicalnervenpaares, und das Zwerchfell fuhr fort sich zu contrahiren wie früher. Denselben negativen Erfolg hatte die Durchschneidung des Markes oberhalb des Ursprunges des zweiten Cervicalnervenpaares, und erst als eine Hälfte des verlängerten Markes oberhalb des Ursprunges des dritten Cervicalnervenpaares quer durchschnitten wurde, hörten die Contractionen des Zwerchfells auf der entsprechenden Seite auf.[4] — Ich habe diese

---

[1] Brown-Séquard, *Experimental researches on the spinal cord.* Richmond 1885. p. 51.

[2] M. Schiff, *Lezioni sul sistema nervoso encefalico.* Firenze 1873. p. 210. — Schiff äussert hier den Zweifel, ob diese Bewegungen wirklich reflectorischer Art seien, und sagt: „es bleibt immerhin fraglich, ob diese stärkere Bewegung, welche das Zwerchfell zeigte, wirklich von der Reizung abhing“ u. s. w.

[3] Budge, Virchow's *Archiv.* Bd. XVI. „Ich weiss nicht, was mit dem Stillstand gemeint ist, welcher durch Trennung des Rückenmarkes nicht gehoben wird.“

[4] P. Bert, *Leçons sur la respiration.* 1870. S. 348.

Beobachtungen von Brown-Séquard, M. Schiff und P. Bert anführen wollen, weil ich sehe, dass sie in keiner der neuesten Arbeiten, welche am meisten zum Fortschritte der Decentralisationslehre beigetragen haben, erwähnt sind.

Die Untersuchungen von Rokitansky[1] waren es, die dem verlängerten Marke den schwersten Streich gaben, indem sie demselben einen grossen Theil der Vorrechte und der Oberherrschaft benahmen, die ihm alle Physiologen bisher hinsichtlich der Athembewegungen zugeschrieben hatten. Rokitansky hat gezeigt, dass mit Strychnin vergiftete junge Kaninchen auch dann noch Athembewegungen ausführen können, wenn ihr verlängertes Mark ausser Thätigkeit gesetzt wird.

Später kamen die Untersuchungen von Langendorff und Nitschmann,[2] welche darthaten, dass es ausserhalb der Medulla oblongata spinale respiratorische Centren giebt, die auf reflectorischem oder automatischem Wege thätig werden können.

Wenn man von einem Respirationscentrum reden will, sagt Langendorff,[3] so muss man darunter die Summe aller derjenigen centralen Organe verstehen, die den Nerven der verschiedenen Muskeln, welche bei der Athmung thätig sind, zum Ursprunge dienen; und dazu muss man noch alle diejenigen Centren hinzufügen, welche auf reflectorischem Wege die Athmung regeln oder modificiren.

Das in diesem Sinne gemeinte Respirationscentrum würde sich den neuesten Untersuchungen von Christiani[4] und von Langendorff zufolge von den Wänden des dritten Ventrikels ab bis zu der Stelle im Rückenmark erstrecken, wo die Nerven für die letzten Intercostal- und Bauchmuskeln austreten.

Die in diesem Capitel enthaltenen graphischen Studien werden zur Genüge die Nothwendigkeit darthun, die Athembewegungen, die das Gesicht, das Zwerchfell, der Thorax und das Abdomen ausführen, auseinander zu halten. Es sind dies ebensoviele verschiedene musculäre Mechanismen, deren jeder sein eigenes Centrum besitzt. Das verlängerte Mark dient zu ihrer Coordinirung. Wie wir aber sehen werden, müssen wir annehmen, dass die Zellen, von welchen der Facialis, der Phrenicus und die Spinal-

---

[1] Prokop Rokitanski, Untersuchungen über die Athemnervencentra. *Wiener medicinische Jahrbücher*. 1870. S. 30. *Medicinische Jahrbücher*. 1874.

[2] Langendorff, Studien über die Innervation der Athembewegungen. *Dies Archiv*. 1880. S. 518.

[3] Langendorff, a. a. O. S. 541.

[4] Christiani, Ein Athmungscentrum am Boden des dritten Ventrikels. *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften*. 1880. Nr. 15.



nerven entspringen, eine gewisse Selbständigkeit besitzen, so dass jedes Centrum unabhängig von den anderen mehr oder weniger rasch und kräftig in Thätigkeit treten kann.

Die Athembewegungen des Mundes und der Nase können unabhängig von denen der anderen Theile ausgeführt werden. Wird einem jungen Hunde der Kopf oberhalb des verlängerten Markes abgehauen, so dauern die Athembewegungen des Gesichts eine Zeit lang fort.

Die Bewegungen des Gesichts und des Thorax können auch in zeitlicher Hinsicht unterschieden werden, indem sie in der Regel im Gesicht vorher anfangen. Ich werde hierfür gleich ein Beispiel aufführen.

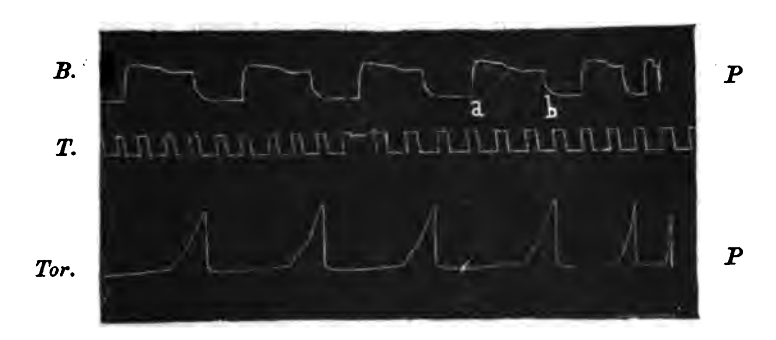


Fig. 6.
Gesichtsathmung *B* und Thoraxathmung *Tor.* einer chloralisirten Taube. Die Brustinspiration beginnt eine Secunde nach der Gesichtsinspiration. Die Zeile *T* verzeichnet die Secunden.

Es handelte sich um eine Taube, welche durch successive Einspritzung von 10 ^{cgrm} Chloralhydrat in getheilten Dosen in die Bauchhöhle vergiftet worden war. Das Thier war in tiefen Schlaf versunken und fuhr mehrere Stunden hindurch regelmässig zu athmen fort. Schon mit blossem Auge war zu erkennen, dass zwischen dem Beginne der Inspirationsbewegung des Gesichts, und der des Thorax, ein ziemlich langer Zeitraum verstrich, während die Exspiration im Gesicht und am Thorax gleichzeitig stattfand.

Um diese Differenz aufzuschreiben, bediente ich mich einer Trommel mit elastischer Membran, welche derart aufgesetzt war, dass die Bewegungen des Schnabels einer Hebeltrommel mitgetheilt werden konnten. Ich verwendete zu diesem Zwecke die Trommelform, welche vom Mechaniker Sokohl in Berlin angefertigt wird; und mittels einer Nadel die am Ende der kleinen Stange, wo das Gegengewicht angehängt ist, eingesteckt war, erhielt ich die Aufzeichnung Fig. 6, auf welcher die Bewegungen des Schnabels (*B*) fast in ihrer wirklichen Grösse dargestellt sind. In *a*, wo die Linie ansteigt, ist der Augenblick, wo sich der Schnabel

öffnet; in *b*, wo die Linie absteigt, der Augenblick wo der Schnabel geschlossen wird. Die Linie *Tor* stellt die Athembewegungen des Thorax dar. Eine Trommel mit elastischer Membran und einem Knopfe in der Mitte derselben wurde auf die Seiten des Brustkieles, über Brustmuskeln applicirt, woselbst ich vorher die Federn abgeschnitten hatte. *P*, *P* sind synchronische Punkte. Die mittlere Linie *T* stellt die Secunden dar.

Man sieht, dass zwischen dem Beginne der Gesichtsathmung (*a*) und dem der Brustathmung (*b*) mehr als eine Secunde verstreicht; während hingegen die Exspiration im Gesicht und am Thorax gleichzeitig erfolgt.

Ich weiss nicht, wie sich diese Erscheinung nach der Lehre vom Automatismus erklären lässt. Sieht man den luftschnappenden Kopf einer Taube oder eines Hundes, so kommt es Einem in den Sinn, dass diese Thiere vielleicht nie solche Bewegungen ausgeführt hätten, welche die inspiratorische Anstrengung begleiten, wenn wir sie nicht unter so sehr von der Norm abweichende Bedingungen versetzt hätten. Wenn wir Hunde sehen, welche bei jeder Inspiration am ganzen Körper zittern oder die Beine schütteln, oder wenn wir Menschen finden, die im Schlafe bei jeder Inspiration die Hände oder die Füsse bewegen, so müssen wir annehmen, dass die Erregung, welche im Stande ist „die Muskeln der Respirationsapparate zur Contraction zu veranlassen, auch ausserhalb des verlängerten Markes, auf sehr weit von jenem Centrum gelegene Theile wirken kann.

Wahrscheinlich besitzen im ganzen Marke die Nervenzellen die Eigenschaft, periodische Contractionen in den Muskeln hervorzurufen, wenn die Athmung insufficient wird, oder wenn bei genügender Athmung, wie dies im Schlafe beobachtet wird, gewisse hemmende Wirkungen aufgehoben sind.

Was wir von den respiratorischen Bewegungen des Gesichts gesagt haben, gilt auch von der Bauchathmung, welche nicht immer stattfindet und nur unter bestimmten Bedingungen auftritt.

Der Antheil, welchen die Muskeln der Bauchwandungen an den In- und Exspirationsbewegungen nehmen, ist eine sehr complicirte Erscheinung, welche recht eingehende Studien verdient, und wir sind gerade gegenwärtig in meinem Laboratorium mit Untersuchungen hierüber beschäftigt. Wir werden aber bald sehen, dass die Athembewegungen der Bauchmuskeln ein eigenes Centrum besitzen müssen, da sie auftreten und aufhören, ohne einen engen Zusammenhang mit den Bewegungen des Thorax und des Zwerchfells zu beurkunden.

Nach einer langen Pause der Athmung sieht man zuweilen die Athembewegungen schon im Gesichte anfangen, während Thorax und Abdomen sich später bewegen. Oft habe ich während der Agonie an Hunden die Bewegungen des Mundes aufgeschrieben, der sich öffnete und schloss, während

die Bewegungen des Thorax und des Abdomens seit mehr als einer Minute vollkommen aufgehört hatten.

Zum ersten Male hatte ich bei meinen Studien über die Athmung des Menschen während des Schlafes ein Auseinanderweichen des Zwerchfells- und der Brustathmung wahrgenommen. Diese Selbständigkeit beider kann ich nunmehr auf verschiedenen Wegen darthun, sowohl hinsichtlich des Zeitpunktes wo die Brust- und die Zwerchfellsinspiration beginnen, als auch hinsichtlich der Dauer und der Intensität derselben.

In dieser Arbeit „Ueber die gegenseitigen Beziehungen der Bauch- und Brustathmung[1] hatte ich bereits dargethan, dass im Schlafe eine Paresis des Zwerchfells stattfindet, so dass bei einigen Personen dieser Muskel sich wie eine träge Membran verhält, welche sich von den Bewegungen des Thorax hinreissen lässt.

Ich hatte ferner gezeigt, dass es eine Abwechselung der Athembewegungen giebt und eine Art Compensation, so dass bei abnehmender Kraft des Zwerchfells die Bewegungen des Brustkorbes ausgiebiger werden und umgekehrt. Andere Male erfolgen die Schwankungen in der Intensität der Athembewegungen der Brust und des Bauches unregelmässig und ohne alle gegenseitige Beziehung. Die Perioden der Brustathmung entsprechen denen der Bauchathmung nicht.

Man braucht nur einem Hunde eine tüchtige Dosis Chloralhydrat in die Jugularvene einzuspritzen, so sieht man, dass bald der Thorax bald das Zwerchfell vollkommen stehen bleiben, um nach einer längeren oder kürzeren Pause wieder in Thätigkeit zu treten, wobei sie sich auch hinsichtlich des Anfangspunktes der einzelnen Inspirationen unabhängig von einander zeigen. Der Singultus stellt übrigens einen der schlagendsten Fälle dar, um sich zu überzeugen, dass zeitweilig eine starke Contraction des Zwerchfells ohne eine entsprechende Theilnahme der Thoraxmuskeln zu Stande kommen kann.

Sehen wir nun die Aufzeichnungen, welche darthun, wie weit die Inspirationsbewegungen des Thorax von denen des Zwerchfells abweichen können.

Bei dem Studium der Bewegungen des Zwerchfells stösst man bekanntlich auf gewisse Schwierigkeiten, welche schon Rosenthal hervorgehoben hat. Unter den verschiedenen Phrenographen, die man ersonnen hat, gebe ich den Vorzug der Trommel mit elastischer Membran.

Um allen Zweifel auszuschliessen, öffnete ich bei tief chloralisirten Hunden die Bauchhöhle, indem ich einen Einschnitt in die Linea alba in der Nähe des Sternums machte und eine kleine Trommel mit elastischer

[1] Mosso, *Dies Archiv*. S. 460.

Membran und Korkknopf in die Bauchhöhle einführte und bis an das Zwerchfell schob.

Auf diese Weise erhielt ich die Aufzeichnung Fig. 7. Die obere Curve stellt die Bewegungen des Thorax dar, welche mittels eines Marey'schen Pneumographen geschrieben wurden; die untere die Bewegungen des Zwerchfells, mittels der direct mit der Bauchhöhlenfläche dieses Muskels in Berührung gebrachten Trommel aufgenommen. Hier sieht man, dass der ersten Inspirationsbewegung des Thorax eine ziemlich starke Contraction des Zwerchfells entspricht, während bei der zweiten Inspiration des Thorax das Zwerchfell sich gar nicht bewegt und erst bei der dritten Inspirationsbewegung des ersteren letzteres eine kräftige Contraction ausführt. Auch später, während die Brustathmung regelmässig fortdauert, sieht man abwechselnd eine Contraction des Zwerchfells ausbleiben oder kaum angedeutet werden; und das wiederholt sich während zwölf weiterer Inspirationen, wovon ich der Kürze wegen die Aufzeichnung nicht geben zu müssen glaube.

Eine andere nicht minder interessante Erscheinung, welche die Selbständigkeit der Nervencentren darthut, ist das Auftreten von Perioden und Intermittenzen in der Zwerchfellathmung, während die Athembewegungen des Thorax gleichmässig bleiben.

Fig. 16 auf Taf. IV stellt

Fig. 7.

Bewegungen des Thorax *Tor.* und des Zwerchfells *Abd.*, gleichzeitig an einem chloralisirten Hunde geschrieben.

eine Aufzeichnung dar, die an demselben Hunde erhalten wurde. Auch hier wie bei der vorhergehenden Beobachtung war die Athmung dyspnoisch und drehte sich der Cylinder mit grosser Geschwindigkeit. Die obere Zeile wurde mittels eines um den Thorax angelegten Marey'schen Pneumographen geschrieben, dessen Stahlplatte sich auf das Sternum stützte. Die untere Zeile wurde mittels einer innerhalb der Bauchhöhle an das Zwerchfell applicirten Trommel erhalten. Hier sieht man deutlich, dass die Brustathmung der Zwerchfellathmung nicht entspricht. In letzterer kommen zeitweise Perioden einer grösseren Thätigkeit vor, während solche in der Brustathmung nur schwach angedeutet sind.

Indem ich mit geringerer Geschwindigkeit schrieb, konnte ich diese Erscheinung während mehrerer Minuten beobachten und mich überzeugen, dass die selbe von dem diaphragmatischen Nervencentrum abhängen müsse, da keine andere Ursache vorlag, auf welche sie bezogen werden könnte.



Fig. 8.

Brustathmung *Tor*, Zwerchfellathmung *Abd*, an einem chloralisirten Hunde geschrieben. Nach einer Injection von Chloralhydrat in die Jugularvene hören die Bewegungen des Zwerchfells auf, während die des Thorax, wenn auch geschwächt, fortdauern. Später stellt sich periodische Athmung ein.

Die Selbständigkeit der beiden Respirationscentren für das Zwerchfell und für den Thorax spricht sich in sehr charakteristischer Weise in Fig. 8 aus, die an einem Hunde erhalten wurde, welchem mehrere Gramm Chloralhydrat in die Jugularvene eingespritzt worden waren. Die obere Curve *Tor* stellt die Bewegungen des Thorax,

die untere *Abd* die des Bauches dar, beide mittels einer geknöpften Trommel geschrieben. Gleich nach der Einspritzung des Chlorals in die Jugularvene hören die Bewegungen des Zwerchfells *Abd* auf, während die des Thorax *Tor*, wiewohl sehr geschwächt, fortdauern; später treten Perioden auf. Diese Figur zeigt uns, auf welche Weise die Perioden spontan entstehen. Das Zwerchfell bleibt während der Pausen unbeweglich, während der Thorax sich mit dem früheren Rhythmus zu bewegen fortfährt. Der von mir vorgeschlagenen Nomenclatur zufolge, hat man am Thorax eine einfache Remittenz, am Zwerchfell eine vollkommene Intermittenz. Die Thätigkeitsperioden des Zwerchfells werden hernach stärker, als stellte sich die Energie des betreffenden Centrums rasch her, während die Thätigkeitsperioden des Thorax unverändert bleiben.

Nachdem ich festgestellt, dass die verschiedenen Muskelapparate, die an der Athmung theilnehmen, geschieden werden können, wollte ich ermitteln, wie gross die Resistenz sei, welche ihre Nervencentren den Einflüssen, die ihre Vitalität herabzusetzen streben, entgegensetzen. Obgleich das Zwerchfell den wichtigsten Muskel für den Mechanismus der Athmung darstellt, so überdauert seine Thätigkeit keineswegs immer die aller anderen Respirationsmuskeln. Aus meinen Untersuchungen ergiebt sich, dass im Schlafe zuerst die Thätigkeit des Zwerchfells und erst später die des Thorax abnimmt, während in der Agonie allerdings die Bewegungen des Thorax zuerst aufhören, das Zwerchfell dagegen noch lange sich zu contrahiren fortfährt, nachdem, mit Ausnahme des Herzens, bereits alle anderen quergestreiften Muskeln ihre Contractionsfähigkeit verloren haben.

Es scheint daher, dass während des Schlafes zuerst diejenigen Muskelapparate zu functioniren aufhören, welche dem Gehirne näher gelegen sind, beim Tode dagegen, mag derselbe spontan oder durch Vergiftung mit Narcoticis herbeigeführt sein, indem die Vitalität der Nervencentren tiefer gestört wird, erst die im Rückenmarke gelegenen Respirationscentren, d. h. das abdominale und das thoracische, ihre Leistung einstellen. Indessen fand ich so viele Ausnahmen, dass ich kein absolutes Gesetz aufstellen kann.

In der Physiologie fehlt eine genaue Untersuchungsreihe über die Abänderungen, welche die Functionen der verschiedenen Respirationsapparate in den verschiedenen Altersperioden und überhaupt unter verschiedenen Bedingungen erfahren. Ich bin überzeugt, dass ein solches Studium zu sehr nützlichen Ergebnissen führen würde, auch für die Pathologie des Nervensystems.

Dr. Roth schläft mit einem an seiner Brust und einem an seinem Bauche applicirten Pneumographen. In der Aufzeichnung 17, Taf. IV, sieht man, dass die Zwerchfellathmung *Ad* sowohl als die Brustathmung *Tor* Perioden darbietet. — Mehr als eine halbe Stunde lang bleibt die Athmung des Dr. Roth deutlich periodisch. Die in dieser Nacht angestellten Beobachtungen thun die Unabhängigkeit der Bauchbewegungen von denen des Thorax dar. — In der Aufzeichnung 18, Taf. IV, sehen wir, dass nach der vierten Inspiration, von links ab gerechnet, in der Curve *A* eine Inspirationsbewegung des Bauches fehlt, während in der Brustathmungscurve *T* eine solche wohl vorhanden ist. Und umgekehrt, contrahirt sich das Zwerchfell stärker in den Punkten *C*, *D*, *E*, ohne dass eine entsprechende Verstärkung der Athembewegungen des Thorax zu bemerken ist.

Bei meinen Studien über das Verhalten der Athembewegungen im Schlafe, habe ich oft Gelegenheit gehabt, Inspirationsbewegungen des Brustkorbes zu beobachten, während welcher jedes Anzeichen fehlte, dass sich



Fig. 9.

A. Caudana. Aufzeichnung der Brustathmung *Tor* und der Bauchathmung *Abd.* während des Schlafes. Im Punkte ↓ klopfe ich leicht auf den Tisch. Das Zwerchfell steht fast vollkommen still, während der Thorax noch die Inspirationsbewegung, wiewohl schwächer als vorhin, ausführt. Nachfolgende Reaction am Zwerchfell. — Der Mann erwacht nicht.

auch das Zwerchfell contrahirt habe. Ich führe hier ein Beispiel von solchen Beobachtungen in der an Agostino Càudana erhaltenen Aufzeichnung, Fig. 9, auf.

Die Bewegungen des Thorax sind mittels eines Marey'schen Pneumographen geschrieben; die des Abdomens mittels eines Hebels.[1] Beide Curven folgen daher einer umgekehrten Richtung im Verhältniss zu den wirklichen Bewegungen des Abdomens und des Thorax, indem sie während der Inspiration absteigen und während der Exspiration ansteigen.

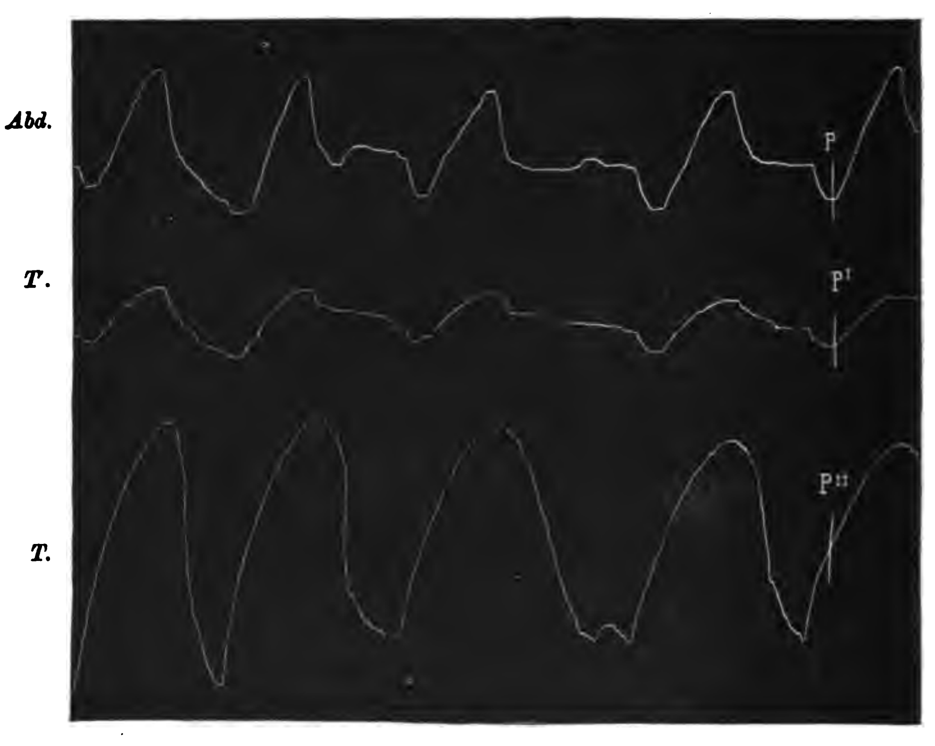


Fig. 10.
Aufzeichnung der Athembewegungen des Thorax *T*, *T'* und des Abdomens *Abd*, welche zeigt, dass während des Schlafes die Inspiration vorher am Thorax und erst viel später am Abdomen beginnt.

Die Inspiration beginnt gleichzeitig am Thorax und am Zwerchfell, dauert aber an letzterem viel kürzer: das Abdomen ist bereits im Zusammensinken begriffen, während der Thorax sich noch auszudehnen fortfährt.

---

[1] *Dies Archiv*. 1878. S. 442.

An der mit dem Pfeile bezeichneten Stelle klopfe ich leicht mit einem Fingergelenk auf den Tisch. Dieser Schall bewirkt sofort einen Stillstand des Zwerchfells oder eine solche Schwächung seiner Contraction, dass davon nichts zu sehen ist. Die Brustathmung wird in geringerem Maasse durch den störenden Eindruck alterirt. Doch gleich nachher werden die Contractionen des Zwerchfells stärker als vorher, während die des Thorax nur wenig ihre Form verändern. Diese Veränderungen des Athmens erfolgen ohne dass der Mann aufwachte.

Zuweilen wird die umgekehrte Erscheinung beobachtet. Ich führe hier eine Aufzeichnung (Fig. 10) auf, welche an demselben Manne erhalten wurde und wo ich die Athembewegungen an drei verschiedenen Stellen aufnahm, um eine genaue Vorstellung von ihren gegenseitigen Beziehungen zu gewinnen. Eine geknöpfte Trommel war im zweiten Intercostalraume applicirt (Curve *T*); eine zweite auf die Spitze des Brustbeins, in der Höhe des 10. Rippenknorpels (Curve *T'*); eine dritte, den beiden anderen ganz gleiche Trommel auf das Abdomen, etwas unterhalb des Nabels (Curve *Ad*).

Vergleicht man die synchronischen Punkte *P*, *P'*, *P''*, so ersieht man aus dieser Aufzeichnung, dass die Inspiration früher im oberen Theile des Thorax anfängt und viel später am Zwerchfell. Man könnte nun glauben, dass einige Zeit auf die Uebertragung der Zwerchfellsbewegungen auf die Bauchwände verloren geht; doch habe ich mich versichern können, dass dieses nicht der Fall ist; übrigens habe ich schon früher Aufzeichnungen aufgeführt, die ebenfalls am Menschen erhalten worden waren und wo diese Verspätung noch viel grösser war; und bei meinen Versuchen an Hunden, wo ich die Bauchhöhle öffnete und direct die Contractionen des Zwerchfells aufzeichnete, überzeugte ich mich zu wiederholten Malen, dass der Beginn der Brust-Inspiration von dem der Zwerchfell-Inspiration zeitlich unterscheidbar war.

Bei der zweiten Athembewegung tritt am Zwerchfell eine Contraction auf, welcher am Thorax gar nichts entspricht; und dasselbe wiederholt sich bei der nachfolgenden Exspiration, wo jedoch in der Thorax-Curve eine Spur von Bewegung bemerkbar ist.

Im Allgemeinen entsprechen die Athembewegungen des Bauches und des Thorax einander viel genauer gegen das Ende der Inspiration. Dieses Verhalten ist sehr deutlich aus der Fig. 11 ersichtlich, welche die Athmung meines Bruders während eines leichten Schlafes darstellt. Die obere Curve *Abd* gehört dem Abdomen an und wurde mittels eines dem Vierordt'schen Sphygmographen nachgebildeten Hebels geschrieben; die untere *Tor* stellt die Thorax-Athmung dar und wurde mittels eines Marey'schen Pneumographen erhalten.

Wir sehen, dass während des Schlafes die Inspiration erst am Thorax anfängt und nur viel später am Abdomen die Wirkungen der Zwerchfell-Contractionen bemerkbar werden. Die Inspirationen des Bauches und des Thorax endigen gleichzeitig; auch fängt die Exspiration an beiden Orten zugleich an; während aber am Thorax die Exspiration schon beendigt ist, fährt sie im Abdomen noch fort.

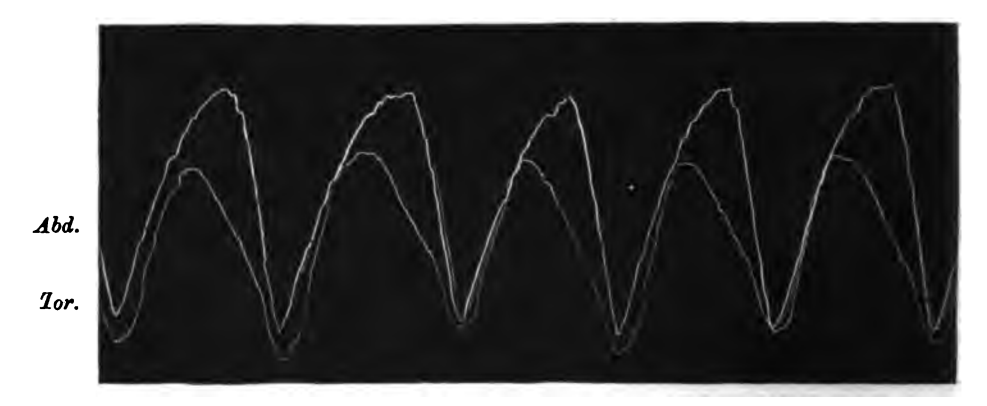


Fig. 11.
Bauchathmung *Abd* und Brustathmung *Tor* meines Bruders Ugolino während des Schlafes. Man sieht hier, dass die Inspirationsbewegung früher am Thorax anfängt als am Zwerchfell.

Wenn man bei einem Hunde langsam Chloralhydrat in die Jugularvene einspritzt, so gelingt es sehr leicht, die Thoraxbewegungen aufhören zu sehen, während das Zwerchfell sich zu contrahiren fortfährt, oder umgekehrt das letztere von den Thoraxbewegungen mitgerissen werden, als wäre es ganz träge geworden.

Die unbeständige Theilnahme der Bauchmuskeln an der Athembewegung ist eine der schlagendsten Thatsachen, welche darthun, dass kein Zusammenhang, keine innige Verknüpfung unter den einzelnen Centren besteht, welchen die an der Athmung betheiligten Mechanismen unterworfen sind.

Betrachten wir die Aufzeichnung 29, Taf. VI. Dieselbe stellt die periodische Athmung eines Hundes dar, welchem im Laufe von etwa 6 Stunden 6^{grm} Chloralhydrat in die Jugularvene eingespritzt worden waren. Die obere Zeile *Tor* stellt die mittels eines Marey'schen Pneumographen geschriebenen Bewegungen des Thorax dar; die Curve ist daher verkehrt, d. h. sie sinkt während der Inspiration und steigt während der Exspiration. Die Bauchcurve *Ad* wurde mittels einer Trommel geschrieben und stellt daher die Bewegungen des Zwerchfells in geradem Bilde dar.

In *P*, *P* hat man die synchronischen Punkte, welche die gleichzeitige Lage der Federn bezeichnen.

Im Beginne der Aufzeichnung 29 sehen wir, dass die Inspiration gleichzeitig am Thorax und am Zwerchfell erfolgt, da die beiden Curven in entgegengesetzter Richtung schwanken. Bald darauf tritt eine Zacke in der Bauchexspiration auf. Diese Auszackung ist durch eine active Contraction der geraden Bauchmuskeln bedingt, welche nach und nach stärker wird und alsdann aufhört. Diese Erscheinung, die sich in allen nachfolgenden Perioden wiederholt, ist sehr interessant, da sie zeigt, dass das Respirationscentrum der Bauchmuskeln viel später in Thätigkeit tritt und früh aufhört die betreffenden Muskeln zur Contraction anzuregen.

Doch auch die Contractionen des Zwerchfells hören in diesen Perioden früh auf, und lässt sich dann dasselbe passiv durch die Inspirationsbewegungen des Thorax mitreissen.

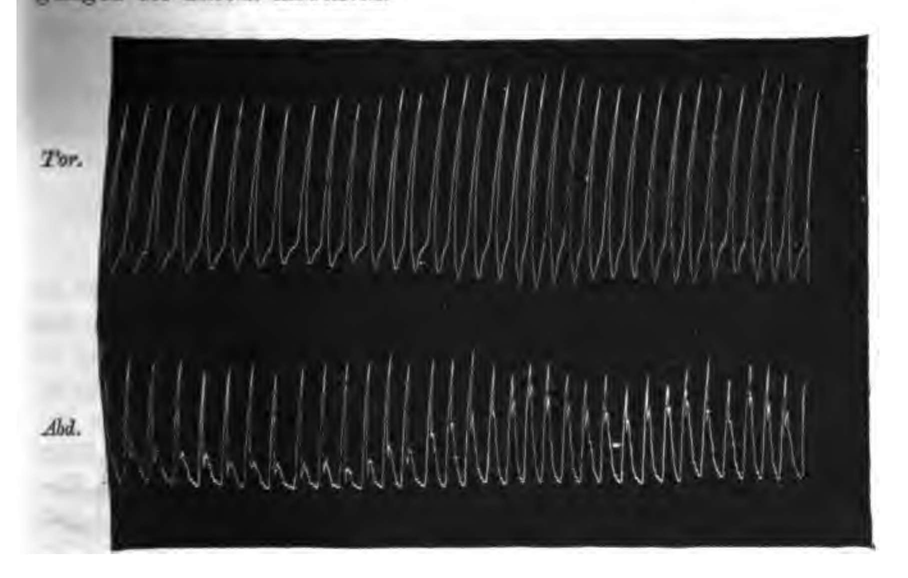


Fig. 12.

Brust- und Bauchathmung eines Hundes, wo die durch die Bauchmuskeln bedingten Perioden der Exspiration sich unabhängig zeigen von den Athembewegungen des Zwerchfells und des Thorax.

Nachdem wir nämlich im Beginne der Periode einen Antagonismus zwischen den Bewegungen des Thorax und des Abdomens gesehen, bemerken wir, dass dieselben in *M*, *M'* gleichlaufend sind und die Exspirationsbewegung des Thorax von einer Inspirationsbewegung d. h. einer Hebung der Bauchwandungen begleitet ist. Das beweist jedenfalls, dass die Bauch- und die Brustmuskeln von einander unabhängig sind.

Einen anderen Beweis dieser Selbständigkeit der einzelnen Respirationscentren hat man in der Aufzeichnung Fig. 12, in welcher die Brustbewegungen *Tor* und in der unteren Zeile die Bauchbewegungen *Abd* gleichzeitig geschrieben sind. Betrachten wir die Curve der Bauchathmung, so bemerken wir eine Auszackung an der Basis jedes absteigenden Curvenabschnitts. Diese Elevation, die jeder einzelnen Athmungsevolution das Ansehen des Dikrotismus verleiht, ist dadurch bedingt, dass die Exspiration durch die Contraction der Bauchmuskeln activ wird. Wir sehen, dass diese Auszackungen nach und nach höher werden. Eine Linie, welche die Scheitel aller dieser Auszackungen verbände, würde alle Variationen vergegenwärtigen, die in dem Exspirationscentrum der geraden Bauchmuskeln auf einander gefolgt sind.

Da in der Aufzeichnung der Brust- und der Zwerchfellathmung keine entsprechende Variation erfolgt, so müssen wir an nehmen, dass die Thätigkeit der Bauchmuskeln innerhalb gewisser Grenzen unabhängig und selbständig ist.

VI. Capitel.

Schwankungen im Tonus der am Mechanismus der Athmung betheiligten Muskeln.

Zum leichteren Verständniss dessen, was in diesem Capitel über die Schwankungen im Tonus der Athmungsapparate vorgebracht werden soll, will ich erst eine Aufzeichnung aufführen, worin diese Erscheinung in exquisit charakteristischer Form ausgesprochen ist. Die Aufzeichnung 30, Taf. VII, stellt die Athmung eines Kaninchens dar, mittels einer an den Schwertfortsatz applicirten Marey'schen Trommel erhalten. Das Thier lag gebunden auf dem Rücken und es wurde bei demselben, nach Einspritzung von 1 ccm 20 procentiger Piridinlösung in die Jugularvene, auch der Blutdruck in der Carotis geschrieben.

Bei der Betrachtung der Aufzeichnung *R* verfällt man unwillkürlich auf den Gedanken, die Athembewegungen mit den Herzschlägen zu vergleichen, da die ersteren eine ganz ähnliche wellige Linie beschreiben, wie die Schwankungen in den Aufzeichnungen des Blutdruckes oder die mittels des Plethysmographen aufgeschriebenen Volumenschwankungen einer Extremität. Die Ruhestellung des Zwerchfelles und des Thorax am Ende jeder Exspiration ist keine constante. Abgesehen von den einzelnen Athembewegungen gibt es Perioden grösserer und geringerer Thätigkeit des Athmungscentrums, wodurch die Durchmesser der Brusthöhle verändert werden. Die Respirationsmuskeln zeigen hinsichtlich ihres Tonus dieselbe

Erscheinung, welche Traube und Hering bereits für den Tonus der Blutgefässe betrachtet haben.

Diese Schwankungen in der Thätigkeit des Respirationscentrums sind von den Schwankungen in der Thätigkeit in das vasomotorische Centrum unabhängig. Die Zeile *P* zeigt den gleichzeitig mittels eines Quecksilbermanometers geschriebenen Blutdruck in der Carotis, und wir sehen, dass dieselbe fast horizontal verläuft, während die Athembewegungen starke Schwankungen zeigen.

Diese Erscheinung ist um so interessanter, als die Druckhöhe inzwischen fast normal blieb, so dass eine Lähmung der Gefässe oder des vasomotorischen Centrums nicht anzunehmen ist. Es sind viel grössere Gaben Piridin erforderlich, um ein Kaninchen zu tödten; und nachdem wir demselben Thiere nach und nach weitere 3 ^{ccm} 20procentiger Piridinlösung eingespritzt, fing es, sobald es losgebunden wurde, herumzulaufen an und blieb am Leben.

Jedoch kann man nicht sagen, dass der Druck immer constant bleibe. Im Beginne des Versuches war während etwa 20 Minuten eine deutliche Uebereinstimmung zwischen den Schwankungen der Athmung und denen des Blutdruckes zu bemerken. Ich gebe diesen Theil der Aufzeichnung nicht wieder, und es mag die Mittheilung genügen, dass jedesmal, wenn der Blutdruck zunahm, auch die Linie der Athemzüge in die Höhe ging und so die ansteigende Phase einer Oscillation bildete, während in der absteigenden Phase der Athemzüge auch der Blutdruck sank, so dass beide Curven parallele Schwankungen zeigten.

Bald nachher hörte dieser Parallelismus auf. Die Schwankungen in der Athmungscurve wurden stärker, die des Blutdruckes dagegen verschwanden gänzlich, wie in Aufzeichnung 30, Taf. VII, zu sehen. Wurde die Trommel auf die Rippen aufgesetzt, so dauerten diese Schwankungen fort, wiewohl sie schwächer wurden. In dem Nervencentrum der Athembewegungen giebt es also Perioden grösserer und geringerer Thätigkeit, wodurch in der Ruhestellung des Thorax und des Zwerchfelles, unabhängig von den rhythmischen Erregungen der Athmung, periodische Schwankungen hervorgerufen werden.

Solche Schwankungen kommen auch beim Menschen vor. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur die Aufzeichnung der Brustathmung, Figg. 27 und 28, Taf. VII, zu betrachten, die ich in der Nacht des 1. Juni 1884 an einem 70jährigen Greise Namens Truffe erhielt. Es war ein kräftiger Mann, der jedesmal zur Nacht in mein Laboratorium schlafen kam, wenn ich ihn dazu wegen dieser Untersuchungen aufforderte. In den Aufzeichnungen 27 und 28 haben wir ein sehr deutliches Beispiel des remittirenden Athmens. Ich verzeichnete den Zustand des Blutkreislaufs

im Vorderarm, d. h. die circulatorischen Volumenveränderungen desselben mittels eines aus einem Glascylinder bestehenden Luftplethysmographen, in den ich den Vorderarm einführte und in der Höhe des Ellbogens mittels Kitt abschloss, worauf ich den Apparat mit meinen gasometrischen Plethysmographen [1] in Verbindung setzte.

Betrachten wir in der an Truffe erhaltenen Aufzeichnung die Zeile 27, welche 15 Minuten nach dem Auftreten des intermittirenden Athmens geschrieben wurde, während der Schlaf regelmässig und ruhig fortdauerte. Wir sehen eine Reihe von zehn fast gleichen Athemzügen. Doch die Ruhelinie des Thorax bleibt nicht constant; nach den ersten sechs Athemzügen erfolgt eine tiefere Exspiration und die zwei nachfolgenden Exspirationen erhalten sich ungefähr auf derselben Höhe; dann kommt eine fehlgeschlagene Inspiration, dann eine andere im Vergleich zur Norm etwas kleine Inspiration, und dann endlich fängt die intermittirende Athmung an. Es erfolgen sechs sehr schwache Athemzüge, während welcher der Thorax nicht mehr vollständig zusammengesunken ist, als wäre er gleichsam auf einer halben inspiratorischen Excursion stehen geblieben. Dann hört die Remission auf und erfolgen zwei im Vergleich zur Norm stärkere Inspirationen. Der Tonus der Thoraxmuskeln wächst so sehr, dass die der dritten Exspiration viel weniger collabirt, als bei allen vorhergehenden Exspirationen; und nachher erfolgt nach und nach ein abermaliges Zusammensinken des Thorax: die Exspiration wird immer grösser und der Umfang des Thorax geringer. Dabei nimmt auch die Ausgiebigkeit der Inspiration allmählich ab, bis eine neue Remission eintritt, bei der die Athembewegungen kaum angededeutet sind. Es wiederholt sich eine neue Phase der Thätigkeit und neue Zunahme des Muskeltonus, und dann ein abermaliges Zusammensinken, und so dauert die sehr deutliche periodische Athmung mehr als eine halbe Stunde fort.

Der Blutkreislauf im Vorderarme zeigt, dass die Blutgefässe keinen Antheil nehmen an diesen eingreifenden Veränderungen, die in den Athembewegungen stattfinden. In dieser Aufzeichung *P* sieht man, dass die Gefässe während der Periode der grössten Respirationsthätigkeit sich leicht ausdehnen; doch halte ich es für wahrscheinlich, dass diese Erscheinung rein mechanisch sei.

Das indifferente Verhalten der Blutgefässe gegen die Intermittenzen und Remittenzen der Athmung scheint uns um so interessanter als es uns die Erklärung dieser Erscheinungen erleichtert, ohne dass wir zu den geistreichen und verwickelten Hypothesen unsere Zuflucht nehmen brauchen,

[1] A. Mosso, Applicazione della bilancia allo studio della circolazione del sangue nell' uomi. *R. Acad. dei Lincei.* 1884. — Id. *Archives italiennes de Biologie.* 1884. t. V, p. 130.



welche **Traube**, **Filehne** u. A. vorgeschlagen, um die Entstehung der Perioden der **Cheyne-Stokes**'schen Athmung zu erklären. Im Schlafe neigen auch die Athmungscentren zur Ruhe, und dass ihre Thätigkeit wirklich abnehme, erkennen wir, wenn wir den Tonus der von jenen Centren abhängigen Muskeln studiren. Bevor noch die Neigung zur Ruhe eine wahre Pause hervorbringt, sehen wir den Thorax zusammensinken, die Exspiration grösser werden und den Tonus der Respirationsmuskeln abnehmen. Diese Erscheinungen sind deutlich in den Aufzeichnungen 27 und 28, Taf. V, bevor die Pause eintritt, zu sehen. Nach letzterer stellt sich eine neue Thätigkeitsperiode ein, der Thorax bleibt am Ende der Exspiration stärker, erweitert und collabirt dann abermals in der nachfolgenden Phase, welche der Pause vorangeht.

Die Schwankungen im Tonus der Respirationsmuskeln können durch andere Momente complicirterer Art hervorgebracht sein, durch psychische Erscheinungen und durch die geänderte Erregbarkeit und andere Erscheinungen im Gebiete der Nervencentren.

Ich wüsste nicht anders die von mir oft beobachtete Erscheinung des mehr oder weniger anhaltenden Zusammensinkens oder Erweiterung des Thorax, bei unverändertem Respirationsrhythmus, zu erklären. — Die Aufzeichnung 28, Taf. VI, zeigt uns das Beispiel einer plötzlichen Aenderung im Tonus der Thoraxmuskeln, deren Veranlassung ich nicht zu ermitteln vermochte: denn der Versuchsmann hatte sich nicht gerührt und es war keine Aenderung in der äusseren Umgebung vor sich gegangen. Wir sehen, dass gegen die Mitte der zweiten Periode in N der Thorax erweitert bleibt und die Exspiration nicht mehr so erfolgt, wie in der vorhergehenden Periode. Dass es sich wirklich um eine Zunahme des Tonus der Thoraxmuskeln handle, das beweist der Umstand, dass nach sechs Minuten, ohne irgend eine mir bekannte Veranlassung, der Thorax allmählich zusammenzusinken anfing und zum früheren Zustand zurückkam, so dass die Expirationscurve in die Höhe ging und um vieles das Niveau N überstieg, auf welchem die vorhergehenden Athemzüge geschrieben worden waren. Doch der Kürze wegen gebe ich diesen Theil der Aufzeichnung nicht wieder.

Die Schwankungen im Tonus der Respirationsmuskeln sind so eng mit der periodischen Athmung verknüpft, dass es unmöglich ist beide Erscheinungen von einander zu trennen und Grenzen festzustellen, innerhalb deren eher die eine Bezeichnung als die andere angewendet werden müsse. Im Allgemeinen kann man sagen, dass, wenn der Muskeltonus abnimmt, das Respirationscentrum das Bestreben zeigt, die Ausgiebigkeit der Athembewegungen zu vermeiden, und kann diese Verminderung bis zum völligen Stillstand der Athmung gehen.

Beim Menschen habe ich diese Aenderungen im Tonus der Respirationsmuskeln oft auch dann beobachtet, wenn der Schlaf nicht sehr tief war, wie z. B. in dem Falle, wohin die Aufzeichnungen 32 und 33, Taf. VII gehören. Die Athembewegungen sind hier mittels eines an den Thorax eines kräftigen Mannes, des Agostino Caudana, aufgesetzten Marey'schen Pneumographen geschrieben. Der Versuch wurde im August, um 2 Uhr Nachmittags, angestellt. Man sieht deutlich, dass ausser den periodischen Variationen in der Ausgiebigkeit der einzelnen Athemzüge, auch Schwankungen im Tonus der Thoraxmuskeln vorkommen. Eine durch alle Ruhepunkte (die hier durch die höchsten Punkte der Respirationscurve dargestellt sind) gezogene Linie fällt wellig aus.

Die Schwankungen im Tonus des Zwerchfelles und der Thoraxmuskeln sind in der Aufzeichnung 31, Taf. VII, sehr deutlich ausgesprochen. Dieselbe wurde an einem Hunde erhalten, welchem Chloral in die Jugularvene eingespritzt worden war und der in den letzten Stunden seines Lebens eine sehr deutliche periodische Athmung darbot. Die obere Zeile *Tor* stellt die mittels eines Marey'schen Pneumographen geschriebenen Athembewegungen des Brustkorbes dar; die Zeile *Ad* die mittels einer in der Nähe des Nabels aufgesetzten Trommel aufgezeichneten Athembewegungen des Abdomens. Die Striche *PP'* dienen als Orientirungspunkte. Man sieht, dass in den Thätigkeitsperioden der Respiration die Frequenz und Ausgiebigkeit der Contractionen des Zwerchfelles und der Thoraxmuskeln wächst. Gegen die Mitte der Periode wird die active Exspiration der Bauchmuskeln deutlicher; gegen das Ende der Periode nimmt der Thorax eine solche Stellung ein, dass er während der Exspiration mehr erweitert bleibt; und ebenso verbleibt das Zwerchfell auch während der Exspiration in einem deutlichen Zustande der Spannung. Mit anderen Worten, sehen wir, dass der Tonus der Respirationsapparate bedeutende Schwankungen zeigt.

Bis jetzt glaubte man, dass die grössere und geringere Thätigkeit des Respirationscentrums dem grösseren oder geringeren Bedürfniss entspreche, durch den Gasaustausch in den Lungen den chemischen Anforderungen des Organismus Genüge zu bieten; ich glaube mich nicht zu täuschen, indem ich behaupte, dass die Athembewegungen sich je nach den Zuständen des Schlafes oder des Wachens, der grösseren oder geringeren Thätigkeit des gesammten Nervensystems modificiren. Um diese meine Vorstellung etwas schroff aber verständlich auszudrücken, würde ich sagen, dass der Chemismus und der Mechanismus der Respiration in einem gewissen Sinne als zwei auseinander zu haltende Erscheinungen betrachtet werden müssen.

Obgleich nicht völlig selbständig, ist doch der Mechanismus der Respiration insofern unabhängig, als er viel vollkommener als die chemischen Bedürfnisse des Organismus die

Vitalität der ihn beherrschenden Nervencentren abspiegelt: wenn nämlich, aus irgend einem Grunde, die Erregbarkeit des Rückenmarks und des Gehirns wächst, so findet in den Lungen ein viel grösserer Gasaustausch statt, als für die chemischen Bedürfnisse des Organismus erforderlich ist; und umgekehrt kann während des Schlafes der Mechanismus der Respiration periodisch ausruhen und stehen bleiben, ohne dass der Chemismus der Athmung in den Geweben und im Blute dadurch irgend gestört werde.

Dass diese meine Vorstellung der Wahrheit entspricht, lässt sich leicht an chloralisirten Thieren darthun.

Ich habe bereits in meiner gemeinschaftlichen mit Prof. Guareschi ausgeführten Arbeit über die Ptomaine[1] nachgewiesen, dass die Athembewegungen als der letzte Ausdruck der Empfindlichkeit bei chloralisirten Hunden zu betrachten sind. Wenn das Thier durch keinen Muskel mehr auf die Erregungen reagirt, die im normalen Zustand Schmerz auslösen, wenn auch das Herz seine Schläge nicht ändert und die Pupille unbeweglich ist, ändert sich auffällig die Respiration, wenn man die Extremitäten zusammendrückt oder irgendwie die sensiblen Nerven reizt. Die vorher schwachen und oberflächlichen Contractionen der Brustmuskeln und des Zwerchfelles werden stärker; der Tonus der Muskelapparate nimmt oft während fünf und gar zehn Minuten zu, und nachher, in dem Maasse als die Nervencentren einschlummern, erlischt auch die Thätigkeit des Respirationscentrums wieder, und verfällt das Thier wieder in einen dem Tode ähnlichen Zustand.

Die Aufzeichnungen 19, 20, Taf. V, stellen einen über den Schmerz angestellten Versuch dar.

Einem kleinen Hunde wurden in die Bauchhöhle 2^{grm} Chloral in 50 procentiger Lösung eingespritzt. Sobald das Thier tief eingeschlafen und so unempfindlich geworden, dass es nicht mit der geringsten Modification der Athmung mehr reagirt, wenn man ihm aus ganzer Kraft ins Ohr hineinschreit, versuche ich von α bis ω, die Interdigitalmembran der hinteren Pfoten mit den Nägeln zu kneifen. Der Hund rührte sich gar nicht, reagirte auf keine Weise: wir können annehmen, das die chemischen Bedürfnisse der Gewebe und des Blutes gar nicht modificirt worden waren; nur der Mechanismus der Respiration zeigte uns durch die Zunahme seiner Thätigkeit, dass die Nervencentren aus ihrem Sopor erweckt wurden. Indem

[1] J. Guareschi e A. Mosso, Les ptomaïnes. Études du mécanisme des actions du curare, des ptomaïnes et des poisons qui agissent sur le système nerveux. *Archives italiennes de Biologie*. 1883. Tome III. p. 241.



wir ununterbrochen zu schreiben fortfuhren, sehen wir in Zeile 20 die ohnehin sehr langsame Respiration noch träger werden. Von dieser Verlangsamung ist mir die Ursache unbekannt geblieben, denn das Thier war vollkommen unbeweglich geblieben, und später wurde der Athem wieder frequenter.

Bei dem Studium der Athembewegungen ist ein grosses Gewicht auf den Grad der Erregbarkeit des Respirationscentrums zu legen, wenn man den Einfluss des chemischen Mediums auf den Mechanismus der Respiration bestimmen will.

Beim Studium der Einwirkung der Asphyxie auf die Entstehung der periodischen Respiration fand ich, dass dieselbe sehr verschieden ist, je nach dem Zustande des Thieres. Zuweilen unterdrückt sie die Perioden, zuweilen dagegen ruft sie dieselben hervor; oft übt sie einen anhaltenden Einfluss auf den Rhythmus der Respiration aus, und manchmal bleibt die Asphyxie, wenn die Erregbarkeit des Nervensystems sehr herabgesetzt ist, ohne Wirkung.

Die Aufzeichnung 21, Taf. V, wurde bei dem chloralisirten Hunde gewonnen, wie die vorhergehende; in α lasse ich aus dem Gasometer einen Kohlensäurestrom austreten, den ich gegen die Mündung der in die Trachea eingebundenen Canüle richte. In ω schliesse ich den Hahn des Gasometers und setze mittels eines Blattes Papier die Luft in Bewegung, um die Kohlensäure, die sich über dem Tische in der Nähe der Trachea angesammelt hat, zu entfernen. Aber die Athembewegungen fahren zu wachsen fort. Ich kann nicht annehmen, dass die Athmung so stark werde wegen des Bedürfnisses die Kohlensäure auszuscheiden und dem Sauerstoffmangel abzuhelfen: der Zeitraum zwischen α und ω ist zu kurz dazu. Ich glaube, dass diese Verstärkung auf einem ähnlichen Vorgange beruhe, wie die bei der Einwirkung des Schmerzes, Fig. 19 Taf. V, beobachtete. Es sind nicht die chemischen Bedürfnisse des Organismus, welche die Hauptursache dieser durchgreifenden Aenderung der Respiration abgeben, sondern es ist das Erwachen der Nervencentren und das momentane Aufhören des Sopor, auch im Respirationscentrum, das eine die chemischen Bedürfnisse des Stoffwechsels übersteigende mechanische Respirationsthätigkeit hervorruft.

Die Aufzeichnung 35, Taf. VIII, stellt zwei an einem chloralisirten Hunde, der bei der Berührung der Conjunctiva nicht mehr durch Bewegungen der Augenlider reagirte, angestellte Versuche dar. Wir hatten dem Thiere 3 grm Chloral in die Jugularvene eingespritzt, und es war die periodische Athmung aufgetreten.

Die obere Zeile *Tor* stellt die mittels einer an das Sternum applicirten Trommel aufgezeichnete Brustathmung dar; die untere Zeile *Ad*, die mittels eines um den Bauch geschnallten Pneumographen geschriebene Bauchathmung. Die Hebel der Trommeln waren so gestellt, dass sie nicht

zu empfindlich waren und nicht zu stark die schon sehr ausgiebigen Athembewegungen vergrösserten. In der Trachea war mittels zweier Bindfäden eine grosse Canüle festgebunden, welche mit einem Gummipfropfen luftdicht verschlossen werden konnte. Die Respiration zeigte in höchst charakteristischer Weise die Erscheinung der Intermittenz.

Die Aufzeichnung 35, Taf. VIII, fängt mit drei Perioden an, und dann, in dem mit dem Pfeile bezeichneten Augenblicke, schliesse ich die Trachea mittels des Gummipfropfes. Da ich sehe, dass nach 9 oder 10 Athemzügen keine Intermittenz mehr auftritt, wie vorhin, öffne ich in ω die Luftröhre. Sofort werden die Athemzüge frequenter und stärker. Die Excursionen des Zwerchfelles sind viel grösser als früher, so dass die Schrauben des Marey'schen Pneumographen abschnappen und ich gezwungen bin den Apparat zu heben und zurechtzustellen. In diesem Augenblicke beginnt wieder die periodische Athmung.

Am Thorax gibt es anfangs nur eine einfache Remittenz, später aber eine vollständige Intermittenz. Auch hier sehen wir, dass die Thätigkeitsperioden am Thorax und am Abdomen einander nicht entsprechen.

In der dritten Periode nach der Asphyxie macht der Thorax sieben ziemlich starke Athembewegungen, während das Zwerchfell nur fünf deutliche Contractionen zeigt.

In *F* schliesse ich noch einmal das Trachealrohr, während eine Thätigkeitsperiode der Respiration eben im Gange ist. Die Wirkung ist unmittelbar: die Respirationsfrequenz nimmt ab und die Pause fehlt.

Hier bemerkt man einen interessanten Umstand, welcher zeigt, wie die Thätigkeit der verschiedenen Athmungscentren sich in kurzer Zeit tief verändern kann. Sobald die Trachea geschlossen wird, steht das Zwerchfell still und lässt sich durch den Thorax mitreissen, die Kraft seiner Contractionen ist nicht mehr im Stande, wie früher, den Widerstand der Erweiterung des Thorax zu überwinden. In ω öffne ich die Trachea, und gleich werden Thorax und Abdomen thätiger, da das durch den Verschluss der Trachea gesetzte mechanische Hinderniss gehoben ist.

Die Perioden stellen sich fast gleich wieder her; man sieht aber, dass das Zwerchfell mehr als die Thoraxmuskeln geneigt ist, unthätig zu werden.

Am Ende dieser Aufzeichnung beobachtete ich eine interessante Erscheinung, die oft bei chloralisirten Hunden sich wiederholt. Es ist dies ein Beispiel von Alternation der Athembewegungen. Das Zwerchfell tritt aus dieser Unthätigkeit heraus und fängt ohne bekannte Veranlassung sich stark zu contrahiren an, so dass seine Contractionen die des Thorax überwiegen. Die Athemfrequenz nimmt zu. Es ist auch dies ein nervöser Vorgang, dessen Ursache man vergeblich in den chemischen Verände-

rungen des Gesammtorganismus suchen würde; denn der Hund war ganz unbeweglich geblieben in seiner horizontalen Lage.

Betrachtet man beide Aufzeichnungen in Längsperspective, so dass man von den beiden Curven die inneren Theile, welche die Ruhelage des Thorax bezeichnen, mit einander vergleichen kann, so sieht man, dass am Thorax sowohl als am Abdomen die Schwankungen sehr deutlich sind, welche die Veränderungen des Muskeltonus in beiden Respirationsapparaten ausdrücken.

Wenn die Erregbarkeit des Nervencentrums sehr herabgesetzt ist, so übt die Asphyxie fast gar keinen Einfluss mehr auf die Athembewegungen.

Die Aufzeichnung 36, Taf. VIII, stellt die mittels zweier Trommeln geschriebene Brust- und Bauchathmung dar. Diesem Hunde waren 9 ^{grm} Chloral in die Jugularvene eingespritzt worden, und er verhielt sich ganz unempfindlich, wenn man ihm laut in das Ohr hineinschrie oder irgend einen mechanischen oder elektrischen Reiz am Kopfe oder an den Extremitäten anbrachte.

Die Athmung ging ruhig vor sich: in dem mit α bezeichneten Augenblicke wird die in der Trachea festgebundene Canüle mit einem kräftig eingeschobenen kegelförmigen Gummipfropfe geschlossen. Anfangs erfolgte eine leichte Verlangsamung der Athemzüge und die Bauchathmung wird bedeutend stärker. Die Erweiterungen des Thorax verändern sich viel weniger.

In *M* habe ich 10 Athemzüge abgeschnitten, um keine zu lange Tafel machen zu müssen: in *N* beginnt die Fortsetzung. Die Contractionen des Zwerchfelles sind sehr stark geworden und erreichen ihr Maximum; dann nehmen sie von *O* gegen *P* wieder ab, obgleich die Luftröhre immer geschlossen bleibt. In *P* lasse ich die Luft zu, doch ohne Erfolg: die Athmung ändert sich nicht und fährt abzunehmen fort. Nur die Athemfrequenz wird für einige Secunden etwas grösser, worauf sie gleich wieder abnimmt. Nach einigen weiteren Secunden wird aber die Athmung wieder regelmässig und etwas ausgiebiger, wie man in der Aufzeichnung 37 sieht, welche die unmittelbare Fortsetzung der vorhergehenden darstellt.

Ich wiederholte diesen Versuch mehrere Male und fand, dass bei den mit Chloral vergifteten Hunden ein so tiefer Schlaf der Nervencentren stattfindet, dass nach dem Aufhören der Asphyxie der Organismus nicht durch tiefere Athemzüge gegen den erlittenen Schaden zu reagiren sucht.

Es ist wahrscheinlich, dass die Athmungscentren in secundäre Centren

mit speciellen Verrichtungen zerfallen und mit einer grösseren oder geringeren Widerstandsfähigkeit ausgerüstet sind gegen die feindlichen Einflüsse, welche ihre Thätigkeit aufzuheben bestrebt sind. Rosenthal zeigte es schon, wie nichtssagend es sei, von der Erregung der Nervencentren durch das sauerstoffarme Blut zu reden: es sei eine Periphrase, welche Nichts erklärt. Er nahm an, dass die Thätigkeit der Hirnganglien eng verknüpft sei mit den chemischen Processen, die von der Zusammensetzung des in den Capillaren circulirenden Blutes abhängen. Ist das Blut reichlich mit Sauerstoff versehen, so gestalten sich die Processe ganz anders als im entgegengesetzten Falle. Der Mangel an Sauerstoff lässt Ganglien in Thätigkeit treten, welche sonst nicht functioniren und verstärkt die Thätigkeit anderer.[1] Nur aus einer solchen Decentralisation lassen sich gewisse eigenthümliche Formen von Perioden erklären, die in den letzten Graden der Depression der nervösen Erregbarkeit vorkommen.

Bei diesen Versuchen habe ich mich überzeugen müssen, dass auch der langsamste Tod nach wiederholten Chloral-Injectionen nicht von einer völligen Erschöpfung aller Energie des Nervensystems abhängt. Die mit Chloral vergifteten Thiere zeigen im tiefen Sopor einen Stillstand der Athembewegungen, der zur Todesursache wird. Aber das Respirationscentrum ist nicht erschöpft; wir können es durch kräftige Eindrücke auf die Sinnesnerven, durch elektrische Ströme, durch die Eröffnung der Bauchhöhle und andere schmerzhafte Eingriffe wieder aufwecken. Gelingt es, durch geeignete Reize die Thätigkeit des Respirationscentrums anzuregen, so wird man sehen, dass die Athembewegungen des Thorax und des Zwerchfells nach und nach so energisch werden können, dass Niemand glauben würde, sie hätten sonst für immer aufgehört.

Oft sah ich tief chloralisirte Thiere, namentlich Hunde und Tauben, die, nachdem sie Stunden lang gleichmässig geathmet, mit einer auffallenden Regelmässigkeit und mit Athembewegungen, die unmerklich an Ausgiebigkeit abnahmen, bis sie kaum sichtbar wurden, zuletzt eine ansteigende Reihe von Athembewegungen machten, um dann zu sterben.

Die ersten Autoren, welche das Cheyne-Stokes'sche Phaenomen studirten, glaubten, dass die ansteigende Scala der periodischen Respiration von der Einwirkung des Blutes abhänge, welches immer arterieller wurde und daher das Respirationscentrum belebte. Bei dem Studium der letzten Perioden, die vor dem Tode auftreten, kann man deutlich sehen, dass die ansteigende Stufenleiter nicht von der Circulation eines sauerstoffreicheren Blutes abhänge: ich habe öfters den Versuch gemacht, die Bauchhöhle zu

[1] Rosenthal, Hermann's *Handbuch der Physiologie*. Bd. IV. II. Th. Die Physiologie der Athembewegungen. S. 272.



öffnen und das Zwerchfell weit und breit aufzuschneiden, während die Athembewegungen des Thorax geschrieben wurden, und ich erhielt dieselbe aufsteigende Scala.

Die Aufzeichnung 38, Taf. VIII, stellt zwei Perioden dar, die sich nach einer längeren Unterbrechung der Athmung spontan einstellten bei einem chloralisirten und unempfindlichen Thiere, bei welchem ich die Bauchhöhle breit öffnete und das Zwerchfell ablöste, so dass die Athembewegungen nutzlos geworden waren und nicht mehr die Luft in die Lungen einzuziehen vermochten.

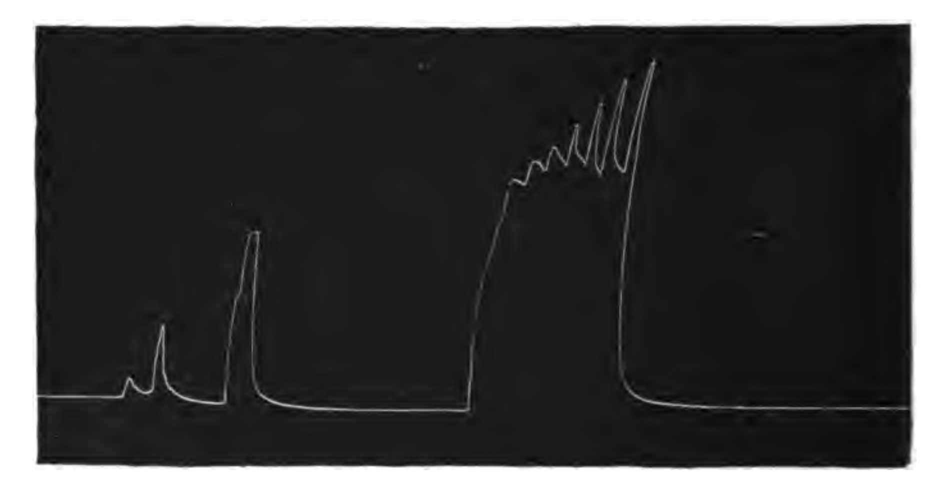


Fig. 13.

Periodische Athmung, wie sie bei Hunden zuweilen während der Agonie beobachtet wird.

In anderen Fällen nehmen die Perioden eine andere Form an, wie sie in Fig. 13 dargestellt ist. Das Thier macht eine tiefe Inspiration, und darauf beginnt auf der Höhe der Inspiration eine ansteigende Reihe anderer Athembewegungen. Diese abnormen Formen dienen nur zum Beweise, wie verwickelt die Vorgänge in den Athmungscentren sein müssen, wenn die letzten Spuren ihrer Energie erlöschen.[1]

[1] Ganz ähnliche ansteigende Perioden wie diese wurden von Kronecker und Markwald (H. Kronecker und Max Markwald, Ueber die Auslösung der Athembewegungen. Verhandlungen der Berliner physiologischen Gesellschaft. Juli 1880. *Dies Archiv*. 1880. S. 444) beobachtet, wenn sie die centralen Stümpfe des Vagus reizten. Es handelte sich um Kaninchen, die nicht mehr spontan athmen konnten. Bei Reizung mittels Einleitung inducirter Ströme, die sich $^1/_{20}$'' oder $^1/_{26}$'' wiederholte, sahen die

Unter den Physiologen, die am nachdrücklichsten die Theorien bekämpften, welche Traube und Filehne aufgestellt haben, um das Phaenomen der periodischen Respiration zu erklären, verdient der Prof. L. Luciani eine ausgezeichnete Stelle (1); weil er der erste war, welcher darthat: wie es unmöglich wäre das Problem der periodischen Respiration aufzulösen, ohne das bisher allgemein anerkannte Princip aufzugeben, dass die functionelle Thätigkeit des Nervenorgans immer direct und unmittelbar von äusseren Reizungs- und Nutritionsbedingungen abhängt. Luciani unterscheidet die Reflexbewegungen von den automatischen Bewegungen, und indem er die Theorie des Automatismus, wie sie J. Müller ausgedrückt hatte, auf das Respirationscentrum anwendet, betrachtet er als bestimmende Ursachen dieser Phaenomene die Schwankungen in der Nutritionsactivität, welchen eine gleiche Anzahl Schwankungen in der Erregbarkeit des Orgaus selbst entsprechen. Auf diese Art erklärt der Prof. Luciani, auf welche Weise die äusseren Reize, die doch constant bleiben, in gewissen Augenblicken wirksam sein und in anderen ungenügend um das Centralorgan in Thätigkeit zu versetzen.

Ich kann die Theorie des Prof. Luciani nicht vollkommen gelten lassen, denn wenn er sagt, dass die Functionsthätigkeit des Respirationscentrums von Schwankungen der inneren Ernährungsbewegung abhängt, der ebensoviele Schwankungen in der Reizbarkeit des Organs entsprechen, so behauptet er eine Sache, die keinen experimentellen Grund für sich hat; denn weder er noch irgend ein Anderer kann mit Gewissheit über die Ernährung der Nervencentra sprechen.

Prof. Fano[1] erhob in einer neulich erschienenen Arbeit Zweifel über die Zulässigkeit der Theorie des Prof. Luciani.[2] Durch eine Reihe von Versuchen an überwinternden Schildkröten glaubte er dargethan zu haben, dass die periodische Form der Athmung nicht auf einer periodischen Zunahme der Erregbarkeit beruht, wodurch ein in der periodischen Pause unwirksamer Reiz wirksam wird. Auch ich pflichte ihm darin bei: aber ich glaube nicht, dass die Lehre Fano's zur Erklärung des Phaenomens der periodischen Athmung dienen könne; ich glaube nicht, dass in den Athmungscentren ein Automatismus bestehe, wie ihn Fano annimmt.

Verfasser eine tiefe und langsame Respiration sich einstellen; und wenn die Reizung länger dauerte, so erfolgte eine Reihe nach und nach stärkerer Athemzüge, welche die Verfasser als Summation der Reize deuteten.

[1] Fano, Sulla respirazione periodica e sulle causa del ritmo respiratorio. *Lo Sperimentale. Fascicoli* VI e VII. 1883.

[2] Luciani, Del fenomeno die Cheyne-Stokes in ordine alle dottrine del ritmo respiratorio. *Lo Sperimentale.* 1879. p. 30 e 31.

Wäre diese Hypothese Fano's richtig, so müsste bei Thieren, in denen die Erregbarkeit der Nervencentren langsam erlischt, die periodische Athmung immer zu beobachten sein, was eben nicht der Fall ist. Es bedarf besonderer Bedingungen, damit jene Schwankungen in der Erregbarkeit der Nervencentren sich kundgeben, die der periodischen Athmung zu Grunde liegen. Die meisten Thiere sterben ohne eine periodische Athmung aufzuweisen

Wenn man sagt, dass die Bewegungen der Respiration automatisch sind, so erklärt man damit nichts. Das Problem besteht darin, den Mechanismus ausfindig zu machen, womit diesen Bewegungen der Antrieb ertheilt wird, die wie jene eines Pendels, nur wenn man sie auf zu kurze Zeit der Untersuchung unterwirft, von den Bedingungen der Umgebung unabhängig scheinen können. Die Physiologie der Nervencentra ist noch zu unvollkommen, als dass man die innerlichste functionelle Natur der Respirationscentra kennen könnte.

VII. Capitel.

Die periodische Respiration hängt nicht unmittelbar mit den Gefäss-Erscheinungen zusammen. Ihre Beziehungen zu dem Blutkreislaufe.

Als ich das erste Mal in der Athmung eines gesunden Menschen, während des Schlafes, die periodische Athmung auftreten sah, so kam mir der Verdacht, dass diese Erscheinung von Träumen oder sonstigen psychischen Vorgängen abhinge, welche die Athembewegungen anzuhalten vermochten.

Es schien mir, dass die beste Methode zur Beseitigung dieses Verdachtes darin bestehen dürfte, dass man den Menschen in dem Augenblicke wo die Pause der Athmung eintrat, weckte und ihn fragte, ob er sich noch erinnere, was in seinem Bewusstsein vorging. Die Antworten, die ich erhielt, zeigten das Fehlen aller psychischen Erscheinung während der Athmungspausen und bewiesen vielmehr, dass während derselben der Schlaf sehr fest und tief ist. Die Perioden laufen ohne jegliche Betheiligung des Bewusstseins ab. Auch wenn die Pausen sehr lang sind, ist es nie vorgekommen, dass die Person beim Erwachen über Beklemmung in der Phase der stärksten Dyspnoe geklagt hätte.

Diese Beobachtungen, die ich während des physiologischen Schlafes angestellt, werden uns später dienen, wenn wir diese Erscheinungen mit der Cheyne-Stokes'schen Athmung vergleichen werden, wo die Kliniker bereits festgestellt haben, dass auch sehr lange Pausen von den Kranken unbemerkt bleiben.

Die Pausen der Athmung üben, wenn sie nicht zu lang sind, keinen Einfluss auf das vasomotorische Centrum. Findet eine Einwirkung der Intermittenz auf die Blutgefässe statt, so fand ich, dass dieselben in einer umgekehrten Weise reagiren als wie bei den psychischen Vorgängen geschieht.

Wir werden gleich ein Beispiel von diesem Gegensatze sehen.

Prof. Bajardi ist ein sehr kräftiger Mann. Als er sich einmal in meinem Laboratorium befand, erklärte er sich freundlichst bereit, sich einigen Versuchen über die Athmung während des Schlafes zu unterwerfen. Er legt sich auf eine Matratze, die auf einem Tische ausgebreitet lag und schläft nach einigen Minuten ein. Ich schreibe die Brustathmung mittels des Marey'schen Pneumographen und den Puls des Fusses mittels meines Luftsphygmographen, wie in Fig. 14 zu sehen ist.



Fig. 14.

Prof. Bajardi. Aufzeichnung der Brustathmung *T* und des mittels des Luftsphygmographen geschriebenen Fusspulses, *P* beides während des Schlafes aufgenommen. Wo das Zeichen ↑ steht, erfolgt ein leises Geräusch, welches den Schlaf nicht unterbricht, aber eine Modification der Athmung und eine Contraction der Blutgefässe des Fusses hervorbringt.

[1] Siehe die Beschreibung meines Luftsphygmographen für den Puls des Fusses in den *Archives italiennes de Biologie*. 1884. Tome V. p. 130.



Fig. 15.
Schlaf. Fortsetzung der vorhergehenden Aufzeichnung. In *P* und *P'* sieht man zwei abnorm lange Exspirationen, während welcher sich eine leichte Erweiterung der Blutgefässe des Fusses einstellt.

Um 3 Uhr Nachmittags, wo das Zeichen ↑ steht, tritt Prof. Bizzozero herein. Beim Aufstehen verschiebe ich leicht den Stuhl. Prof. Bajardi wacht nicht auf und rührt sich nicht; aber seine Athmung wird etwas schneller und oberflächlicher. Der fünfte, sechste und einige nachfolgende Athemzüge sind stärker als in der Norm, und nach 4 oder 5 Minuten fängt wieder der Typus des ruhigen und tiefen Schlafes an. Im Fusse erfolgte eine starke Contraction der Blutgefässe; doch das Volumen desselben kommt früher als die Athmung zur Norm zurück.

Während des Schlafes stellen sich oft sehr charakteristische Perioden mit kurzen Pausen der Athmung ein. Fig. 15 zeigt eine jener ganz flüchtigen Pausen, wo in *PP'* beinahe ein ganzer Athemzug fehlschlägt und verloren geht. Auch hier sind die Brustathmung und der Fusspuls gleichzeitig geschrieben, und man sieht, dass der Stillstand der Athmung von einer Volumenzunahme des Fusses, also von einer Erweiterung der Blutgefässe dieses Körpertheiles, gefolgt ist.

In Fig. 16 sehen wir eine andere Pause der Athmung dargestellt, die von keiner äusseren Veranlassung abhängt und ebenfalls als ein durch die fehlende Thätigkeit der Nervencentren bedingter Stillstand zu betrachten ist. Auch hier kommt eine Erweiterung der Blutgefässe des Fusses zum Vorschein.



Fig. 16.
Prof. Bajardi. Schlaf; ein anderes Beispiel einer von Erweiterung der Fussgefässe gefolgten Athmungspause.

Die von mir mit dem Luft-Plethysmographen zur Messung der Volumenveränderungen des Vorderarmes angestellten Untersuchungen führten zu demselben Resultate: Während der Athmungspause nimmt der Tonus der Blutgefässe ab, während derselbe bei den psychischen Vorgängen zunimmt.

Traube hatte bereits ausgesprochen, dass in der Cheyne-Stokes'schen Athmung zwischen dem Blutdrucke und den Athmungsperioden kein directer Zusammenhang besteht. Wir wollen diese Angabe prüfen.

Ein durch Einspritzung einer grossen Dose Chloral in die Jugularvene seit etwa 40′ vergifteter kleiner Hund zeigt eine periodische Athmung mit langen Pausen. Es wird die Carotis blossgelegt und mittels eines Quecksilber-Manometers der Blutdruck auf dem Kymographion mit continuirlichem Papier geschrieben. Die Aufzeichnung 22, Taf. V, stellt ein Bruchstück von einer langen, ganz gleichförmigen Aufzeichnung dar, die ich seit einer halben Stunde schreibe; und inzwischen erhielten sich die in der Respirationscurve des Thorax bemerkbaren Perioden immer gleich. Die obere Linie *R* ist mittels eines um den Thorax applicirten Marey'schen Pneumographen geschrieben. In Folge der tiefen Inspirationen nimmt der Blutdruck etwas ab. Die Linie *P* zeigt die Curve des Blutdruckes.

Diese Abnahme ist wahrscheinlich, wie ich in einer meiner früheren

Arbeiten[1] dargethan, durch die Anhäufung des Blutes in den Lungen bedingt. Während der Pause kehrt der Blutdruck auf die normale Höhe zurück und verbleibt auf derselben, bis er durch die mechanische Wirkung stärkerer Inspirationen wieder abzunehmen anfängt. In dieser Aufzeichnung finden wir keine Aenderung des allgemeinen Blutdruckes, die zur Annahme berechtigte, dass die Perioden irgend wie von den Gefässerscheinungen abhingen: ja, man ist überrascht, dass so durchgreifende Veränderungen der Respiration so gut wie keine Wirkung auf das vasomotorische Centrum üben.

Diese Unabhängigkeit lässt sich nur durch die Annahme erklären, dass die von mir so benannte Luxus-Athmung nicht gänzlich aufgehört hat.

Durch das in die Venen oder in die Bauchhöhle eingespritzte Pyridin erhält man an Kaninchen eine ganz charakteristische Athmungsform, wie ich sie bei keinem anderen Gifte beobachtet. Dieselbe liefert den Beweis, dass die Thätigkeitsperioden des Athmungscentrums und die des vasomotorischen von einander durchaus unabhängig und nicht übereinstimmend sind. Wenn die Luxusathmung besteht, so konnten eben beide Centren nicht in strenger Uebereinstimmung zusammenwirken; dies wird erst nothwendig, wenn sich Sauerstoffmangel oder Kohlensäureanhäufung im Blute fühlbar zu machen anfängt.

Nach der Lehre von Filehne hängen die Athmungsperioden von der Contraction der Blutgefässe des verlängerten Markes ab, welche einen Anfang von Anaemie im Respirationscentrum herbeiführt und es dadurch zu neuen respiratorischen Bewegungsimpulsen anregt. Offenbar ist dies eine reine Hypothese; denn weder Filehne noch andere haben je gesehen, ob sich dabei die Blutgefässe der Medulla oblongata wirklich zusammenziehen oder erweitern. Ich habe mich in diesem Studium mehr als andere Forscher der Lösung der Frage im Sinne Filehne's genähert, bin aber zu Resultaten gelangt, die seiner Annahme durchaus widersprechen.

In einer nächsten Arbeit über den Blutkreislauf im Gehirne werde ich darthun, dass die Athmung sich nicht ändert, während die Blutgefässe im Gehirne bedeutende Aenderungen erfahren.

Hier werde ich indessen ein Beispiel von diesem Verhalten aufführen. In Fig. 17 ist eine Aufzeichnung wiedergegeben, in welcher gleichzeitig der Fusspuls mittels meines Luftsphygmographen und der Puls des Gehirns bei einem Manne Namens Luigi Cane, mit einem Substanzverluste des Schädels in der Scheitelgegend, geschrieben sind. Der Mann war in tiefen Schlaf

[1] Mosso, *Ueber den Kreislauf des Blutes im menschlichen Gehirn.* Cap. IX. X. XI. Leipzig. Veit und Comp. 1881.





Fig. 17.

Puls des Gehirns *C* gleichzeitig mit dem Fusspulse *P* an einem schlafenden Manne geschrieben. In diesen Aufzeichnungen sieht man, dass die starken Contractionen und Erweiterungen der Hirngefässe den Athmungsrhythmus nicht ändern. In der Aufzeichnung *P' C'*, wo das Zeichen ↓ steht, klopfe ich leicht mit dem Finger auf den Tisch, und es kommt bald darauf eine Contraction der Gefässe im Fusse (Curve *P'*) zu Stande, nebst einem reichlicheren Blutzufluss zum Gehirne (Curve *C'*).

versunken und das Volumen des Gehirnes zeigte starke Schwankungen, welche von den spontanen Bewegungen der Hirngefässe abhingen. Es war 11 Uhr 45′ Abends, und Alles rund herum war in der tiefsten Ruhe. Wir sehen, dass in der Linie *C* eine starke Erweiterung der Hirngefässe in *S* eintritt, welcher keine Veränderung in der Fussgefäss-Linie *P* entspricht. Es ist interessant zu sehen, dass so bedeutende Veränderungen im Blutkreislaufe im Gehirne vorkommen können, ohne dass sich deshalb der Respirationsrhythmus, wie er am Pulse des Fusses und des Gehirns zu erkennen ist, modificirte.

Gegen das Ende der Linie *C* sieht man, dass die Hirngefässe sich noch einmal erweitern und abermals verengern, während die Fussgefässe keine Veränderung zeigen, ausser den respiratorischen Schwankungen, die von dem mechanischen Factum der Athembewegungen abhängen.

In der folgenden Zeile *P′ C′* klopfe ich leicht mit dem Gelenke des Zeigefingers auf den Tisch, und es erscheint gleich ein reichlicherer Blutzufluss zum Gehirne, während in den Blutgefässen des Fusses Linie *P′* eine Contraction eintritt.

Prof. Murri hat in einer neulich erschienenen Arbeit[1] eine Reihe interessanter Aufzeichnungen veröffentlicht, bei deren einigen er die Volumenveränderungen des Vorderarmes plethysmographisch gemessen und gefunden hat, dass während der Pause eine Volumenzunahme stattfinde.

Wir haben schon im Vorhergehenden gesehen, dass man eine leichte Erweiterung der Blutgefässe erzeugt, auch wenn die Pause des Athmens von sehr kurzer Dauer ist. Und wirklich sehen wir beim Prof. Baiardi in Fig. 16, dass, während er schlief, das Unterbleiben einer einzigen Respirationsbewegung hinreichend war, dass sich sogleich das Volumen des Fusses vermehrte. Das wäre ein Grund mehr für die Annahme, dass während der Pausen der Schlaf tiefer wird. Es ist dabei wahrscheinlich, dass durch das Zusammentreffen mit dem rein mechanischen Umstande, dass die Aspiration vom Thorax aus aufgehört hat, die Volumenzunahme etwas grösser erscheint als es sonst wäre. — Ich könnte übrigens mehrere plethysmographische Versuche aufführen, wo diese Zunahme während der Pause fehlt oder nur ganz gering ist.

Man darf zu diesem Zwecke nur die Aufzeichnung 27 auf Taf. VI zu betrachten, so sieht man, dass die Athmungsperioden nicht von den vasomotorischen Verhältnissen abhängen. Bei den zahlreichen Beobachtungen, die ich in dieser Richtung angestellt, habe ich während der Pause nie eine

[1] A. Murri, Sulla genesi del fenomeno di Cheyne-Stokes. *Rivista clinica.* 1883. A. 10 et 11.



Gefässverengerung gesehen, und das ist von grosser Wichtigkeit für die Vorstellung, die wir uns von der Intermittenz machen müssen: denn es sind dies, nach meiner Ansicht, nichts anderes, als Perioden tieferen Schlafes.

Es darf uns nicht befremden, dass es Perioden giebt, wo die Nervencentren zur Ruhe neigen; es scheint mir vielmehr plausibel, ein solches Bestreben in allen Organen anzunehmen.

Die Beobachtungen über die Blutgefässe liefern uns einen Beweis dafür. So lange die Nervencentren in reger Thätigkeit begriffen sind und man wach ist, ändert sich das Volumen der Beine oder Arme nicht merklich; sobald wir aber einschlafen, zeigen sich darin sofort starke Schwankungen, die mit der Athmung nichts zu schaffen haben. Was Fig. 17 für das Gehirn zeigt, könnte ich durch ähnliche Aufzeichnungen für die Arme und Beine darthun. Im Schlafe bleibt jedes Centrum, so zu sagen, sich selbst überlassen, und es zeigen sich im Gehirn und in anderen Körpertheilen tiefe Aenderungen im Tonus der Blutgefässe, durchaus vergleichbar mit den Ruheperioden, die wir in dem Rhythmus der Athembewegungen und im Tonus der Respirationsmuskeln auftreten sehen.

Die Circulation des Blutes hat einen grossen Einfluss auf die Erzeugung der periodischen Respiration. Es kam mir oft vor bei chloroformirten Thieren, welche eine sehr regelmässige Respiration hatten, dass sie dieselbe beibehielten so lange sie in einer horizontalen Lage verblieben; aber kaum verringerte sich der Zufluss des Blutes zum Gehirn (indem man den Körper leicht hinabneigte und dadurch den Kopf erhob) so stellten sich sogleich lange Intermittenzen in der Respiration ein.

Man kann jedoch nicht behaupten, dass eine Anaemie des Gehirnes genüge um die periodische intermittirende Respiration zu erzeugen; denn ich habe chloralisirte Hunde beobachtet, bei denen sich die Perioden der Respiration nur dann einstellten, wenn man das Thier in eine horizontale Lage brachte, nachdem es vorher einige Zeit in verticaler Lage mit erhobenem Kopf verblieben war. In anderen Fällen stellte sich die periodisch intermittirende Respiration ein, wenn man den Kopf des chloroformirten Thieres nach unten neigte.

Ich führe nun ein Experiment an, das ich am 18. November 1884 gemacht habe, und wiederhole auszugsweise was im Protocoll der Beobachtungen steht, um den Zustand, in welchem sich das Thier in dem ziemlich langen Zeitraum, während welchem ich beliebig den Rhythmus der intermittirenden Respiration erzeugen konnte, befand, deutlicher darzustellen.

Um den Körper zu neigen, ohne das Thier erschüttern zu müssen, bediente ich mich des Rothe'schen Gestells: bekanntlich besteht dieser

Apparat aus einer eisernen Rinne, welche in ihrer Mitte auf zwei Spindeln beweglich ist, und so beliebig geneigt werden, und sogar einen vollkommenen Kreis in verticaler Richtung beschreiben kann.

Hund mittlerer Grösse. Ich injectire ihm nach und nach in die Jugularis 2 ^{grm} Chloral in Lösung von 50 Procent. Die Respiration wird sogleich oberflächlicher. Das Thier bewahrt die Reflexbewegungen der Augenlider, wenn man die Conjunctiva berührt. Während ich ihm noch ein halbes Gramm Chloral injicire, kann man ganz deutlich beobachten, dass die Respiration des Thorax beinahe ganz aufhört, während das Zwerchfell fortfährt sich zu bewegen.

Ich wende das Thier mit dem Kopf nach unten und bemerke, dass die Respirationsbewegungen des Thorax schnell zunehmen und sehr stark werden, während die Bewegungen des Unterleibs viel schwächer werden als vorher. Ich zeichne zu gleicher Zeit die Bewegungen des Unterleibs und des Thorax mittels zweier mit elastischen Membranen versehenen Trommeln, welche beide durch eine bleierne Röhre gehalten werden, welche letztere mittels Schrauben an dem Rothe'schen Gestell angebracht sind.

Man bemerkt unzweifelhaft, dass: wenn das Thier mit dem Kopf nach oben geneigt ist, sich die Respiration des Unterleibs verstärkt und deutlich die Zusammenziehung der M. recti stattfindet, welche die active Ausathmung erzeugen, und dass im Thorax die Einathmung abnimmt. Wenn man das Thier aber in die entgegengesetzte Lage bringt, so ist es hingegen der Thorax, welcher stärkere Bewegungen annimmt; die Excursionen des Unterleibs sind viel kleiner und es hört die active Ausathmung der Bauchmuskeln auf.

Während das Thier sich in einer horizontalen Lage befindet, injicire ich ihm wieder ein halbes Gramm Chloral in die Jugularis und die Brustathmung hört wieder auf, indem die Respiration des Zwerchfells, obgleich sehr vermindert, fortdauert.

Dem Hund waren somit 3 ^{grm} Chloral in den Venen beigebracht worden und es blieben die Reflexbewegungen der Augenlider aus. Die Bewegungen des Thorax werden stärker aber langsamer, während im Unterleib Perioden bald grösserer bald geringerer Activität stattfinden.

Ich bringe den Kopf des Hundes nach unten: kurz darauf wird die Athmung periodisch. Die Perioden der Athmungsthätigkeit sind unregelmässig; es finden bald sechs, acht oder zehn Einathmungen statt; dann folgt eine längere Periode mit starkem und beklemmtem Athmen. Ich injicire ihm wieder ein halbes Gramm Chloral in die Jugularis. Das Athmen wird sogleich schwächer und es stellen sich Intermittenzen ein. Dieses Mal sieht man, dass das Athmen im Thorax fortdauert, aber im Abdomen fehlt. Es finden vollkommene Pausen statt, welche 16—20 Se-

cunden dauern; dann macht das Thier 10—12 Einathmungen, und hernach folgt wieder eine Pause. Nach vier solchen Perioden folgt eine lange Ruhe von 50 Secunden, während welcher ungefähr acht sehr schwache Thoraxeinathmungen stattfinden, welchen keine Bewegung im Zwerchfell entspricht, weil sich der Unterleib niederdrücken lässt als wenn er sich passiv verhielte, so oft sich der Thorax schwach erweitert. Sobald ich ein so langes Anhalten des Athmens gewahre, wende ich das Thier um und bringe es mit dem Kopf nach unten; die Respiration erfolgt hierauf unmittelbar.

Um die Modificationen, welche das Athmen durch Veränderung der Lage erleidet, genauer darzustellen, beziehe ich mich auf eine ganze Seite meiner Beobachtungen, so dass die Taf. VIII die genaue Reproduction der fünften Seite der Experimente ist, die ich mit diesem Hunde anstellte.

Um die intermittirende Respiration zu erzeugen, genügte es, das Thier mit dem Kopf nach unten zu kehren.

In der Aufzeichnung 39 stellt die Linie *Tor* die Bewegungen des Thorax dar, und die untere *Ad* jene des Abdomens gleichzeitig aufgezeichnet, und ebenso in den folgenden Linien der Aufzeichnungen 40 und 41. Bei *B* halte ich mit dem Cylinder ungefähr 4 Minuten an, um zu beobachten, ob sich der Typus des Athmens manchmal verändere. Dann setze ich den Cylinder wieder in Bewegung und zeichne das Stück *BC* auf, woraus man ersieht, dass das Athmen gleichmässig fortdauert. Bei *D* wende ich den Hund um und kehre ihn mit dem Kopf nach unten; die Bewegungen sowohl des Bauches als die des Brustkastens werden unmittelbar sehr schwach. Bei *E* halte ich einige Secunden mit dem Cylinder an, um mich zu versichern, ob die Trommeln gut anliegen. Kurz darauf stellt sich bei *F* eine starke Periode der Activität dar, welcher jedoch nicht eine Pause folgt, wie es in der Apnoe zu geschehen pflegt, weil die Athemzüge ebenso häufig wie vorher stattfinden.

In der Abbildung 40 stellt sich das Phaenomen der intermittirenden Respiration mit der grössten Regelmässigkeit dar, sowohl im Thorax als im Abdomen. Bei *G* schreie ich dem Hunde stark in's Ohr um zu sehen ob es mir gelinge die Perioden zu verändern. In diesem Falle fand eine viel längere Intermittenz als die vorigen statt. Die Periode der Respirationsactivität, welche dieser letzteren Intermittenz folgt, unterscheidet sich von den vorhergehenden, indem sie länger dauert. Es folgt eine zweite unregelmässige Intermittenz und endlich eine lange Periode der Respirationsactivität, wovon man einen Theil im Anfang der Aufzeichnung 41 ersieht.

Die Thatsache, dass nach einem starken Schrei eine wesentliche Modification der periodischen Respirationen stattfindet, bestätigt die Lehre, dass die Intermittenzen der Respiration von einer Art Schlaf in den Respirations-

centren erzeugt werden, oder durch eine Neigung ihre Thätigkeit einzustellen. Wenn wir in *G* den Schlaf mittels eines starken Schreies oberflächlicher gestalten, so sehen wir zwei lange Perioden von Respirationsactivität eintreten, welche einer höheren Reizbarkeit in den Nervencentren entsprechen. Das Ende dieser zwei Perioden wird in der Fig. 41, Taf. IX, dargestellt, und die langen aufeinanderfolgenden Intermittenzen $H H' H''$ entprechen vermuthlich einer Periode grösserer Depression der Nervencentra. Die Intermittenz nach einer Periode der Respirationsactivität ist nicht Folge der Apnoe, wie man nach der Hypothese von Filehne hätte glauben sollen, und wir sehen wirklich in diesem Beispiel, dass die sich folgenden Intermittenzen gleich lang sind, obgleich die Perioden der Respirationsactivität viel kürzer sind. Wir haben schon in dem vorhergehenden Experiment bemerkt, dass die Perioden weniger häufig zu werden pflegen und schwächer, wenn sich die Intermittenzen verlängern, was auch der Hypothese von Filehne widerspricht.

Ein Phaenomen, welches ich hervorzuheben wünsche, ist der Drang zum Athmen, welcher in $H H' H''$ in den Muskeln des Thorax stattfindet, ohne dass etwas im Zwerchfell vorgeht, weshalb der Unterleib anstatt sich zu erheben, sich niederdrücken lässt.

Nach einigen Minuten wird die Respiration sehr beklommen. Ich injicire nun dem Hunde ein halbes Gramm Chloral in die Jugularvene, die Respiration wird wieder regelmässig und ruhig, aber sehr oberflächlich; ich injicire ihm mehr Chloral und die Bewegungen des Thorax nehmen immer mehr an Umfang ab und überlassen die Function des Athmens fast ganz dem Zwerchfell. Ich zeichne weitere drei Seiten auf, aber die intermittirende Respiration stellt sich nicht wieder ein. Die Sensibilität des Thieres ist, nachdem wir ihm 6 ^{grm} Chloral in die Adern injicirt haben, so vermindert, dass nur, nachdem wir ihm den Fuss mit einer Zange stark zusammengedrückt haben, eine leichte Veränderung des Athmens nach 15 Secunden stattfindet. Die Verspätung der Transmission der Reaction auf den Schmerz ist eine wichtige Thatsache, welche wir bei diesen Beobachtungen sehr oft constatirt haben.

Hierauf wird das Thier mittels Verblutung getödtet. Das Experiment dauerte vier Stunden.

Capitel VIII.

Die successiven Schwankungen.

Ich halte dafür, dass es eine natürliche Bedingung zum Leben in den Nervencentren sei, dass, wenn sie aus der Ruhe erweckt werden, sie nicht unmittelbar in den vorigen Zustand zurückfallen, sondern mit einer Reihe

von Schwankungen dahin zurückkehren, wobei die Reizbarkeit gradweise zu und abnimmt. Wir haben alle an uns selbst beim Einschlafen erfahren (oder wenn wir erwachen und dann wieder einschlafen) dass Ideen und Traumbilder stattfinden, die an der Grenze des Bewusstseins schwanken, die erscheinen und verschwinden bis sie ganz vergehen. Eine analoge Thatsache wurde von mir beobachtet, als ich beim Menschen die Veränderungen der Blutcirculation im Gehirn, welche psychische Vorgänge begleiten, untersuchte. In einer nächstfolgenden Arbeit über die Circulation des Blutes im Gehirn des Menschen werde ich die Aufzeichnungen veröffentlichen, die zeigen, auf welche Art diese successiven Schwankungen im vasomotorischen Centrum entstehen. Für jetzt beschränken wir uns darauf, dieses Phaenomen in der Function des Athmens zu studiren.

Ein charakteristisches Beispiel haben wir in der Aufzeichnung 23 und 24 der Tafel V. Es handelt sich um einen kleinen tief chloralisirten Hund.

Ich wollte mich überzeugen, ob die Erweiterung der Blutgefässe, welche durch das Einathmen von Amylnitrit erzeugt war, im Stande wäre den Rhythmus des Athmens bei diesem Thier zu modificiren, welches keine Neigung zu Perioden zeigte. Bei α, Linie 23, lege ich ihm in kleiner Entfernung von den Nasenlöchern ein wenig in Amylnitrit getauchte Baumwolle hin; bei ω nehme ich sie weg und wedele mit einem Bogen Papier die Luft fort, um die Ausdünstung zu entfernen; kurz darauf wird die Respiration langsamer und tief.

Bald hernach wird das Athmen beinahe normal, und dann erscheinen in der Linie 24 vier successive Schwankungen *N*, *P*, *U*, *R*. Diese bilden offenbar einen nervösen Zustand. Um jeden Zweifel auszuschliessen, dass es sich hier um den Einfluss von einem Gas handelt, führe ich ein anderes Experiment an, Aufzeichnung 26 Tafel V, wobei ich dasselbe Resultat ierhielt, indem ich die Beine drückte.

Es handelt sich um einen tief chloralisirten Hund, welcher auf keine andere Weise mehr gegen den Schmerz reagirte, als dass er die Bewegungen des Athmens modificirte. An der Stelle, welche durch einen Pfeil bezeichnet ist, drücke ich die Pfote des Hundes mit einer Zange stark zusammen. Kurz darauf werden die Respirationsbewegungen des Thorax tiefer und langsamer, dann werden sie in *A* beinahe wieder normal, und hierauf folgt eine Periode grösserer Activität in *B*; dann wiederholt sich noch eine andere Periode in *C* und endlich wird das Athmen wieder regelmässig und gleichmässig. Die successiven Schwankungen sind eine besondere Form der periodischen Respiration, welche wir durch Reiz hervorbringen, indem wir die Ruhe der Nervencentra stören.

Auch bei Menschen beobachtete ich die successiven Schwankungen der Activität im Respirationscentrum in Folge äusserer Ursachen. Die

Fig. 18 stellt eines dieser Experimente dar. Es handelt sich um einen 77 jährigen Greis, welcher im Laboratorium schlief. Am Abend des 29. Mai gegen Mitternacht, während er regelmässig athmete, wie man auf dem ersten Theil der Aufzeichnung wahrnimmt, mache ich bei dem Punkte der mit einem Pfeil bezeichnet ist, ein leichtes Geräusch; es erfolgt ein kurzes Anhalten des Athmens, dann eine tiefe Einathmung und hierauf eine wirkliche Periode mit Einfallen des Brustkastens, dann eine leichte Pause, hierauf wieder eine Periode, und hernach eine dritte und eine vierte Periode; worauf die Respiration normal wurde. Diese Linien wurden mit einem Pneumographen von **Marey** aufgezeichnet, welcher auf dem Thorax angebracht war. Eine halbe Stunde darauf wurde die Respiration auf die charakteristischste Art intermittirend.

Die successiven Schwankungen sind jedoch nicht ein Phaenomen, welches man bei allen Menschen und bei allen Thieren beobachten kann. Damit sie entstehen, sind gewisse Anlagen nöthig, die ich aber nicht gerade feststellen könnte, wie es auch bis jetzt nicht anzugeben ist, warum einige Thiere eine grosse Neigung zur periodischen Respiration haben, und andere gar keine.

Ein wirksames Mittel, um die successiven Schwankungen hervorzubringen, scheint mir ein leichter Grad von Asphixie, den man dadurch erhält, dass man die Trachea kürzere oder längere Zeit zudrückt. Bei einem Hund habe ich dieses Phaenomen sich fünfmal hinter einander wiederholen sehen, so oft ich die Trachea geöffnet, nachdem ich einen grösseren

Fig. 18.

Brustrespiration eines Greises während des Schlafes. Beim Zeichen ↓ mache ich ein leises Geräusch. Ohne dass die Person erwacht, wird die Respiration periodisch und es erscheinen die successiven Schwankungen.

oder kleineren Grad von Asphixie erzeugt hatte. Es war ein Hund, der eine sehr schwache Neigung zur Hervorbringung der Perioden hatte. Erst nachdem ich ihm 4 ^{grm} Chloral in einer Auflösung von 5 Procent injicirt hatte, begannen sich Perioden einzustellen, wenn ich ihn in eine horizontale Lage brachte. Die Perioden fehlten, wenn man den Kopf des Thieres in die Höhe brachte, so dass ein leichter Grad von Cerebralanaemie hervorgebracht wurde.

Die Fig. 25 Taf. VII zeigt die periodische Athmung einer Taube nach einer mechanischen Reizung der Pfoten. Das Thier war tief chloralisirt und seine Athmung ruhig und gleichmässig. Nach einer schmerzhaften Compression der Zehen fängt sogleich die periodische Athmung an: und kommen die successiven Schwankungen, die in der Fig. 25, Taf. VII, abgebildet sind, zum Vorschein. Die Athembewegungen sind nachher wieder gleichmässig geworden und das Thier starb zwei Minuten später.

Interessant ist die von Filehne und Lewandowsky beobachtete Thatsache, dass man das Athmen von Cheyne-Stokes mit einem leichten Druck auf die Fontanellen hervorbringen kann. Bei einem Kinde, bei dem diese Form des Athmens von Cheyne-Stokes von Zeit zu Zeit aufhörte, fand Filehne, dass man sie wieder mit einem leichten Druck auf das Gehirn hervorrufen konnte. Und manchmal dauerte das Athmen von Cheyne-Stokes fort, nachdem der Druck aufhörte.[1]

Die Thatsachen, von denen ich in diesem Capitel einige Beispiele habe anführen wollen, zeigen augenscheinlich, dass der Mechanismus, womit man die periodische Respiration hervorbringt, nicht immer der gleiche ist. Und wie man es schon durch viele andere physiologische und pathologische Phaenomene weiss, so müssen wir annehmen, dass es vielfältige und sehr verschiedene Ursachen sind, die denselben Effect der periodischen Respiration erzeugen. So beobachtete ich bisweilen, dass auch das Curare die intermittirende Respiration erzeugen kann, und ich könnte Figuren anführen, welche, während des Zeitraumes von zwanzig Minuten, regelmässige und deutliche Perioden in der Respiration auf die charakteristischste Art darstellen, nach vorher stattgefundenen Injectionen kleiner Dosen Curare in die Adern. Diese Intermittenzen im Athmen waren einem anderen Mechanismus als dem des Schlafes zuzuschreiben.

Die Energie der Nervencentra entwickelt sich nicht immer in einer beständigen und gleichmässigen Art; sie trachtet sich durch Perioden grösserer oder geringerer Thätigkeit zu äussern, und wenn das Gleichgewicht der

[1] W. Filehne, Zum Cheyne-Stokes'schen Athmen. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1874. S. 406.

Nervenfunction gestört ist, können Schwankungen entstehen, die gradweise an Intensität verlieren, oder die auch den Anfang stärkerer Schwankungen bilden; wie jene einer Glocke, wo sich bei jedem leichten Anziehen die Kraft der vorhergehenden Schwankungen anhäuft. Dieses grobe Beispiel diene dazu, um anzudeuten, wie sich, wenn das Gleichgewicht der Ruhe gestört ist, neue Bedingungen der Thätigkeit einstellen; übrigens ist es leicht zu begreifen, dass sich eine rhythmische und gleichmässige Function verwandeln kann, wenn das Nervencentrum, von dem sie ausgeht, eine Verminderung oder Vermehrung seiner Erregbarkeit erleidet. Mit dem Namen successive Schwankungen habe ich jene besonderen Formen der periodischen Respiration andeuten wollen, von denen man den innigen Zusammenhang mit den äusseren Ursachen wahrnimmt, welche den Zustand der Nervencentra für den Augenblick gestört haben.

Capitel IX.

Die charakteristischen Phaenomene des Schlafes bei der intermittirenden Respiration.

Die ersten Beobachtungen über die periodische Respiration während des physiologischen Schlafes machte ich im Jahre 1876 und veröffentlichte sie im Jahre 1878.[1] Dr. W. H. Broadbent[2] erzählt, dass er im Jahre 1877, nachdem er verschiedene Fälle der Respiration von Cheyne-Stokes, welche durch eine Cerebralblutung erzeugt waren, beschrieben hatte, bei einem Manne von 80 Jahren, während er schlief, das Athmen von Cheyne-Stokes beobachtet habe.

In den hinterlassenen Werken von Traube, welche im Jahre 1878 veröffentlicht wurden, findet sich auch eine Beobachtung, aus welcher hervorgeht, dass der berühmte Kliniker von Berlin bemerkt hatte, dass das Athmen im Schlaf periodisch werden könne.[3]

Indem Traube das Athmen von Cheyne-Stokes studirte, bemerkte er zum ersten Mal die flüchtigen Muskelzusammenziehungen, welche im Gesicht und auf den Extremitäten gegen das Ende der Pausen erscheinen; aber die Aehnlichkeit, welche er zwischen diesem Phaenomen und jenem, welches bei den curarisirten Thieren erscheint, wenn das Athmen ungenügend wird, beobachtet zu haben glaubte, führte ihn zu einem Irrthum.

---

[1] *Dies Archiv.* 1878. S. 455.

[2] W. H. Broadbent, *On Cheyne-Stokes Respiration in cerebral hemorrhage.* The Lancet 1877. S. 307.

[3] Traube, *Gesammelte Beiträge zur Physiologie.* Berlin 1878. Bd. III. S. 210.

Die Muskelzuckungen zeigen meiner Meinung nach die tiefe Verwandtschaft, welche zwischen dem Schlaf und dem Phaenomen von Cheyne-Stokes besteht. Wenn die Nervencentra auszuruhen streben, erscheinen Erschütterungen und Muskelzuckungen, welche wir alle im Schlaf empfunden haben; denn manchmal sind sie im Stande uns aufzuwecken. Die Muskelzusammenziehungen des Gesichtes und der Extremitäten sind ein normales Phaenomen des Schlafes, und wenn sie bei der Respiration von Cheyne-Stokes erscheinen, so geschieht es deshalb, weil es sich auch hier um einen dem Schlafe analogen Zustand der Nervencentra handelt; ohne dass man ein ungenügendes Athmen annehmen kann, wie Traube meinte. Ich könnte viele Aufzeichnungen anführen, woraus man ersieht, dass auf jede stärkere Einathmung gleichzeitig eine Zusammenziehung der Beugemuskeln der Hand stattfindet.

Bei einigen Personen fehlt jeder Zusammenhang zwischen den Bewegungen des Gesichtes, der Arme oder der Beine mit den Bewegungen des Athmens. Ich theile in der Fig. 19 eine Beobachtung mit um zu beweisen, dass die im Schlafe bemerkten Muskelzusammenziehungen gewiss nicht von der Anhäufung der Kohlensäure im Blut abhängen. Es handelt sich um einen Greis von 77 Jahren, bei welchem ich bemerkt habe, dass sich während des Schlafes regelmässig intermittirende Respirationsperioden einstellten. — In einer Sommernacht,



Fig. 19.
Periodisches Athmen eines Greises von 77 Jahren während des Schlafes. — Die oben angezeigten Kommata geben den Augenblick an, wo eine leichte Zuckung der Beine stattfand.

wo er bedeutend starke Zuckungen in den Beinen hatte, machten wir auf dem Cylinder, wo wir die Thoraxrespiration aufzeichneten bei jeder Zuckung der Beine ein Zeichen.

Die Fig. 16 stellt ein Fragment solcher Beobachtungen dar. Wenn man die gemachten Zeichen und die mit dem Pneumograph von Marey geschriebenen Respirationsperioden vergleicht, so sieht man deutlich, dass zwischen den Muskelzuckungen und dem Phaenomen des Athmens jeder Zusammenhang fehlt. Ich kann aber behaupten, dass solche Zuckungen im Allgemeinen häufiger während der Pause und im Anfang einer Periode der Respirationsactivität als am Ende derselben stattfinden.

Die Beziehungen zwischen dem Schlaf und dem Phaenomen der intermittirenden Respiration erscheinen bei dem Studium der Bewegungen der Iris aufs deutlichste. Es ist eine schon den Alten bekannte Thatsache, auf die Fontana in seinem classischen Buche über die Bewegungen der Iris[1] aufmerksam machte, dass sich die Pupille während des Schlafes zusammengezogen befindet und sich bedeutend ausdehnt, wenn wir erwachen. Leube[2] bemerkte zuerst bei der Athmung von Cheyne-Stokes, dass sich die Pupille im Augenblicke wo die Pause anfängt zusammenzieht, und dass sie sich wieder beim ersten folgenden Athmen erweitert. Und so stellt auch Leube fest, dass sich in demselben Augenblicke. wo sich die Pupille zusammenzog das Bewusstsein verdunkelte und der Kranke unempfindlich wurde; und dass er in der folgenden Phase der Respirationsactivität Zeichen gab, dass er von Neuem Schmerzen fühlte. Man veröffentlichte hernach viele analoge Fälle und einer der interessantesten ist der von Merkel[3] beschriebene, wo es sich um einen vom Schlag getroffenen Kranken handelte, bei welchem das Respirationsphaenomen von Cheyne-Stockes ungefähr eine Woche lang fortdauerte.

Auch dieser Kranke schlief in der Intermittenz des Athmens ein, und wachte in der Periode der Respirationsactivität auf. Wenn man ihn etwas im Anfang der Intermittenz fragte, so verstand er es, aber er konnte nicht mehr antworten, weil ihn der Schlaf überfiel. Wenn er wieder athmete, erinnerte er sich daran und gab eine vernünftige Antwort, obgleich die Worte langsam und mit Mühe erfolgten. Diese Unterbrechungen des

---

[1] F. Fontana, *Dei moti dell' iride.* Lucca 1765. p. 39.

[2] W. Leube, Ein Beitrag zur Frage vom Cheyne-Stokes'schen Respiriations-Phaenomen. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1870. S. 177..

[3] Merkel, Zur Casuistik des Chayne-Stokes'schen Respirations-Phaenomen. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* Bd. VIII. S. 424.

Schlafens und Wachens, welche die Respirationsperioden begleiteten, waren so offenbar, dass, wenn sich der Kranke erheben wollte um im Bett zu sitzen und in dieser Zwischenzeit sich eine Intermittenz einstellte, er entweder halb aufgerichtet blieb ohne sich weiter zu bewegen, oder kraftlos in's Bett zurückfiel. Der Kranke beklagte sich nie darüber, dass ihm die Unterbrechungen des Athmens Beängstigungen oder Unbequemlichkeiten verursachten.

Eine andere wesentliche Aehnlichkeit zwischen den Intermittenzen und den Phaenomenen des Schlafes besteht in den Bewegungen der Augen, welche Fontana schon als charakteristisch im Schlaf beschrieben hatte, und welche Leube und Biot in der periodischen Respirationspause gefunden haben. Manchmal sind die Bewegungen der Augen horizontal, aber gewöhnlicher wenden sie sich nach innen und in die Höhe. Während des Phaenomens der intermittirenden Respiration kann man, wenn man die Augen betrachtet, wahrnehmen, wie die Perioden des Einschlummerns in den Nervencentren auf einander folgen. Es wiederholen sich hier dieselben Phaenomene, wie man sie im Schlafe und bei der Chloroformirung beobachtet. Noch ehe Traube die Kliniker auf das Phaenomen von Cheyne-Stokes aufmerksam gemacht hatte, wurde von Nasse [1] schon in seinem Buche über die Krankheiten des Nervensystems geschrieben, dass manchmal bei Basilarmeningitis lange Pausen im Athmen erfolgen, als ob die Kranken zu athmen vergässen. Nach einer langen Reihe von Hypothesen, und einem lebhaften Streit um das Phaenomen der Intermittenzen zu erklären, nimmt diese Vergleichung von Nasse jetzt eine entschiedene Bedeutung an, und ich könnte keinen treffenderen Ausdruck dafür ausfindig machen. — Die Nervencentra vergessen, während sie auszuruhen trachten, zu athmen, und der Organismus wird diese kurze Pause des Athmens nicht gewahr.

Bei einer Person, welche im Sitzen schlummert, hört die Anspannung der Muskeln, welche den Kopf aufrecht erhalten, von Zeit zu Zeit auf, und der Kopf neigt sich auf die Brust. Während des Wachens werden wir der beständigen Anstrengung, welche die Muskeln ausüben, um diese Arbeit zu vollziehen, nicht gewahr. Die Centra müssen erst in einen schlummerhaften Zustand gerathen, um zu fühlen, dass der Kopf schwer ist und um in Zwischenräumen diese Neigung des Kopfes gewahr zu werden, welche sich oft mit regelmässigem Rhythmus wiederholt, ohne dass es die Person bemerkt oder darüber erwacht. Wenn man einem Hund Morphium unter die Haut injicirt, so habe ich ein analoges Phaenomen sich in

[1] Nasse, Krankheiten des Nervensystems. Virchow's *Handbuch der speciellen Pathologie und Therapie.* 1869. S. 517.



den Beinen wiederholen sehen. Das Thier ist schlaftrunken; von Zeit zu Zeit schliesst es die Augen und die hinteren Beine fallen ihm zusammen als ob es sich setzen wollte, aber sogleich streckt es die Beine wieder aus und kurz darauf wiederholt sich ein gleiches Zusammenknicken, und so dauert es stundenlang mit einer Regelmässigkeit fort, die der bei den Perioden von Cheyne-Stockes ganz und gar ähnlich ist. Das Thier geht oft und streicht durch das Zimmer, man sollte glauben, dass seine Nervencentra regelmässig functioniren, aber von Zeit zu Zeit neigen sich die Beine gleichfalls zur Ruhe und knicken zusammen. Wenn man seinen Kopf betrachtet und ihm in die Augen sieht bemerkt man, dass ihn die Schlafanfälle in mehr oder weniger regelmässigen Pausen befallen. — Die Respiration von Cheyne-Stokes ist manchmal die Wiederholung eines analogen Phaenomens in den Centren des Athmens.

Einige Kranke schliessen die Augenlider während der Intermittenz und öffnen die Augen in der auf die Respirationsphase folgenden Phase wieder. Einige schliessen dieselben auch vor der Remittenz in den letzten Respirationsbewegungen, welche der Pause vorangehen. Andere schliessen sie mitten in der Pause, und es giebt auch Kranke, bei welchen die Betäubung in den Nervencentren so tief ist, dass sie die Augen nicht mehr öffnen; dieses hängt von den mehr oder weniger starken Laesionen ab, welche das Bewusstsein während der Phaenomene erleidet, welche die intermittirende Respiration begleiten.

Unter den am meisten charakteristischen Fällen, bei welchen das Bewusstsein während der Pause des Athmens verschwand, führe ich die von Fraentzel,[1] von Fr. Chvostek,[2] von Hein[3] und von E. Kaufmann[4] veröffentlichten an.

Offenbar ist es nicht möglich einen absoluten Unterschied zwischen den Fällen zu machen, in denen das Bewusstsein verschwunden ist, und den anderen, bei denen es während der Intermittenz fortbesteht. Es handelt sich hier ganz einfach um die Verschiedenheiten in der Intensität eines und desselben Phaenomens. Traube hatte schon bemerkt, dass das Phae-

[1] Fraentzel, Ueber das Cheyne-Stokes'sche Respirations-Phaenomen. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1869. S. 277.

[2] Fr. Chvostek, Ein Fall von Cheyne-Stokes'scher Respiration. *Wiener medicinische Wochenschrift.* 1878. S. 899. 922.

[3] Isidor Hein, Ueber die Symptome und die Pathogenese des Cheyne-Stokes'schen Phaenomens und verwandter Athmungsformen. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* 1880. Bd. XXVII. S. 569. — I. Heim, Ueber die Cheyne-Stokes'sche Athmungsform. *Wiener medicinische Wochenschrift.* 1877. S. 318.

[4] E. Kaufmann, Ueber einige künstlich ausgelöste Erscheinungen beim Cheyne-Stokes'schen Athmungsphaenomen. *Prager medicinische Wochenschrift.* 27. August und 3. September 1884.



nomen von Cheyne-Stokes manchmal so gelinde sein kann, dass es unbeobachtet vorübergeht, so kurz und oberflächlich sind die Pausen; so haben wir auch Fälle, bei denen das Bewusstsein während der Pausen ungetrübt bleibt. Mader[1] beschrieb bereits im Jahr 1849 einen von diesen Fällen.

Bei vielen Kranken, welche die Cheyne-Stokes'sche Respiration haben, ist die Neigung zum Schlaf in den Intermittenzen nicht so stark um das Bewusstsein zu verlieren; in diesen Fällen ist es genügend sie zu vermögen, während der Pause eine freiwillige Athmung zu vollziehen, was sie auch thun. Diese Kranken öffnen bei jeder Respirationsphase die Augen und schliessen sie in der Intermittenz. Als Kaufmann und Knoll die Pupille eines dieser Kranken betrachteten, bei dem man willkürlich die Intermittenz des Athmens aufhören lassen konnte, so sahen sie, dass sich dieselbe gleichfalls in der Pause zusammenzog, aber sobald er gerufen wurde erweiterte sie sich plötzlich; gerade so wie es im Schlaf vorkommt. Und im Gegentheil veröffentlichte man die Geschichten vieler Kranken, bei denen es unmöglich war sich die Pupille während der Pause erweitern zu lassen.

Mein College, Hr. Prof. Bozzolo, theilte mir gefälligst die Geschichte eines seiner Kranken mit, welcher von einem schweren Herzleiden ergriffen war (Atheromasie der Aorta und der Coronarien), bei dem während der Athmungsintermittenzen jede Reflexbewegung aufhörte, auch die des Schluckens. Dieser Kranke, bei welchem sich viele Tage lang die Respiration von Cheyne-Stokes mit langen Unterbrechungen des Athmens einstellte, hatte in den Intermittenzen das Bewusstsein vollkommen verloren, Analgesie, Einstellung jeder Reflexbewegung und Stillstand der Deglutitionsbewegungen; alle diese Phaenomene verschwanden, sobald die Pause aufhörte, d. h. in der auf die Respirationsactivität folgenden Periode.

Wenn man in der Litteratur über diesen Gegenstand nachschlägt,[2] so

---

[1] Mader, Zur Casuistik des Cheyne-Stokes'schen Respirations-Phaenomens. *Wiener medicinische Wochenschrift.* 1869. S. 1447.

[2] W. Frost, *Case of apoplexy respiration of Cheyne-Stokes.* Lancet 1877. p. 938. — M. Heitler, Ueber das Cheyne-Stokes'sche Respirations-Phaenomen. *Wiener medicinische Presse.* 1874. Bd. XV. S. 649 672. — Roth, Zur Casuistik des Cheyne-Stokes'schen Respirationsphaenomens. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* 1872. Bd. X. S. 310. — W. Filehne, Das Cheyne-Stokes'sche Athemphaenomen. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1874. S. 403. — G. Garrer, Di un caso di respirazione di Cheyne-Stokes in individuo affetto da degenerazione adiposa del miocardio. *Gazetta medica italiana. Provincie Venete.* 1877. p. 403. — M. C. Biot, Contribution à l'étude du phénomène respiratoire de Cheyne et Stokes. *Lyon mé-*

sieht man, dass wir kein besonderes Gewicht auf die Thatsache legen müssen, ob ein Kranker fähig sei oder nicht während der Pause gegen die äusseren Reize zu reagiren; ob er während der Intermittenz eine freiwillige Einathmung vollziehen könne oder nicht, und ob er während der Pause die Augen offen behält oder schliesst. Das sind Gradationen und leichte Verschiedenheiten ein und desselben Phaenomens, welche das Wesen der Intermittenzen nicht ändern, die von einer mehr oder weniger grossen Erschlaffung der Nervencentra abhängen.

Nach Heidenhain[1] bedienen wir uns gewöhnlich des Chloralhydrats um die intermittirende Respiration zu erzeugen; aber es genügen viel geringere Ursachen, wie z. B. die Müdigkeit und der Schlaf, um die periodische Respiration bei Personen, die dazu geneigt sind, zu erzeugen. Ich kenne eine dem Anschein nach rüstige Person, welche nach dem Coitus oft eine intermittirende Respiration mit langen Pausen empfindet. Bei den Winterschläfern kommt die periodische Respiration sehr häufig vor, wie ich schon bei meiner ersten Arbeit mit den Beobachtungen über den Myoxus avellanarius[2] gezeigt habe. Hr. Dr. Fano beobachtete, dass die Respiration eines jungen Caimans (Champsa Lucius) in Perioden überging, wenn das Thier schlummerte, und das Thier hatte eine innere Temperatur von 19°. Wenn man den Caiman in's Wasser bei 40° that, so dass sich die Rectaltemperatur bis zu 36·7°, erhob, so wurde die Respiration rhythmisch.[3]

Ich bin überzeugt, dass, wenn man mit grösserer Achtsamkeit nachforscht, man finden wird, dass die Krankheiten, bei denen die intermittirende Respiration stattfinden kann, immer zahlreicher werden. Nun ist es nicht mehr möglich mit Traube anzunehmen, dass sich die intermittirende Respiration nur in zwei Arten von Fällen darstelle, d. h. bei vollkommener Integrität des Herzens mit Aenderungen in der Structur der Nervencentren und bei Integrität der Nervencentren mit Aenderungen in der Structur des Herzens. Traube selbst hatte schon gezeigt, dass die Morphiuminjectionen dieses Phaenomen erzeugen und es verstärken, wenn es schon besteht.

---

dical. t. XXIII°. p. 561. — Körber, Das Cheyne-Stokes'sche Respiratons-Phaenomen bei einem an Meningitis tuberculosa leidenden Knaben. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* 1872. Bd. X. S 600 u. s. w., u. s. w.

[1] Heidenhain, Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1874. Bd. IV. S. 554.

[2] A. Mosso, Sul polso negativo, e sui rapporti della respirazione addominale e toracica nell'uomo. *Archivio per le scienze mediche.* 1878. fasc. 4. § 6. — *Dies Archiv.* 1878. Physiol. Abthlg. S. 451.

[3] G. Fano, Sui movimenti respiratori del Champsa Lucius. *Lo Sperimentale.* Marzo 1884.

Smirnow[1] erzeugte die intermittirende Respiration mit Schwefelwasserstoff, Langendorff[2] mit Muscarin und Digitalin. Bernheim[3] beobachtete die Respiration von Cheyne-Stokes bei einem jungen Menschen, welcher sich mit Kohlenoxyd vergiftet hatte, Andrew[4] in einem Fall von typhösem Fieber bei einem Kranken, welcher gewiss keinen Herzfehler hatte, bei dem nur ein komatöser Zustand vorhanden war, und welcher geheilt wurde; zu gleicher Zeit verschwand die intermittirende Respiration. Ein anderer analoger Fall wurde von Hesky[5] beschrieben.

Rehn[6] bemerkte die Cheyne-Stokes'sche Respiration bei den Lungenkrankheiten der Kinder, und so ebenfalls Filatow.[7]

Ch. Lutz[8] beschrieb einen Fall von Scharlachfieber, bei welchem die Verwandten zuerst gewahr wurden, dass die intermittirende Respiration im Schlafe erschien; die Pausen waren vollständig; am Tag athmete das Kind viel besser. W. Zuelzer[9] beobachtete die intermittirende Respiration bei Pocken; V. Hüttenbrenner[10] bei der Diphtherie.

Die vorhergehenden Nachforschungen über die Luxusrespiration haben uns die Erklärung für viele Phaenomene der periodischen Respiration gegeben, welche sonst bei den vorhergehenden Theorien unbegreiflich wären.

---

[1] Smirnow, Ueber die Wirkung des Schwefelwasserstoffes auf den thierischen Organismus, nebst einigen Daten zur Pathologie des Cheyne-Stokes'schen Respirationsphaenomens. *Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften.* 1884. Nr. 37.

[2] O. Langendorff, Periodische Athmung nach Muscarin und Digitalinvergiftung. *Dies Archiv.* 1881. S. 331.

[3] Bernheim, Du phénomène respiratoire de Cheyne-Stokes. *Gazette hebdomadaire.* 1873. Nr. 31. p. 492.

[4] Andrew, Cheyne-Stokes' Breathing in a case of typhoid fever. *The Lancet.* 1877. p. 385.

[5] E. Helsky, Das Cheyne-Stokes'sche Respirationsphaenomen als Complication des Typhus abdominalis. *Wiener medicinische Presse.* 1869. Bd. X. S. 1107—1133.

[6] H. Rehn, Vorkommen des Respirationsphaenomens nach Cheyne-Stokes bei Lungeninfectionen im kindlichen Alter. Schmidt's *Jahrbücher.* 1871. Bd. CLII. S. 275.

[7] N. Filatow, Zwei Fälle von Cheyne-Stokes'schen Respirationen mit glücklichem Ausgange bei Kindern. *Centralzeitung für Kinderheilkunde.* Berlin 1878. S. 35 und 40.

[8] Ch. Lutz, Eine Beobachtung des Cheyne-Stokes'schen Respirations-Phaenomen bei Scharlach. *Deutsches Archiv für klinische Medicin.* 1871. Bd. VIII. S. 123.

[9] W. Zuelzer in *Real-Encyclopädie,* herausgegeben von A. Eulenburg, Artikel Variola. 1883. S. 393.

[10] A. v. Hüttenbrenner, Das Cheyne-Stokes'sche Respirationsphaenomen beobachtet an einem 2½ Jahr alten diphteritischen Knaben. *Jahrbuch für Kinderheilkunde.* Leipzig 1875. S. 420—422.

Da die remittirende und intermittirende Respiration erscheint, wenn sich in den Nervencentren ein dem Schlafe ähnlicher Zustand erzeugt, so haben wir als die einfachste aller Erklärungen angenommen, dass die Pausen des Athmens durch die Neigung des Centrums der Respiration zur Ruhe hervorgebracht seien.

Wenn man graphisch die Bedingungen der Reizbarkeit in den Nervencentren darstellen wollte, wenn die intermittirende Respiration erscheint, so könnte man sagen, dass, wenn eine Abscisse gegeben ist, welche den Zustand des verminderten Reizes im Nervensystem darstellt, sich die Pausen einstellen, wenn die Curve der Variationen der Reizbarkeit unter die Abscisse fällt, und die Respiration wieder beginnt, wenn sich die Curve von Neuem derselben Linie nähert.

Wärmelieferung und Arbeitskraft des blutleeren Säugethiermuskels.

Von

Dr. S. M. Lukjanow.

(Aus dem physiologischen Institute zu Leipzig.)

(Hierzu Taf. X.)

Wie zu hoffen, wird es der Chemie gelingen, den stofflichen Bau der Muskeln bis in das Feinste hinein aufzuschliessen und die Veränderungen zu erkennen, welche das Blut während seiner Berührung mit den zuckungsfähigen Fasern erfährt. Nach der Erreichung dieses letzten und höchsten Zieles wird sich aus der Gegenüberstellung der Bestandtheile des ruhenden und des thätigen Muskels leicht ableiten lassen, aus welchen Umsetzungen die zur Erzeugung der Arbeit und der Wärme nöthigen Kräfte erwachsen. Doch wird auch auf einer solchen Stufe der Einsicht die Untersuchung der Wärmemengen noch unerlässlich sein, welche der Muskel im erschlafften und verkürzten Zustand jeweilig entwickelt, weil es, soweit zu sehen, nur hierdurch gelingen kann, über den zeitlichen Verlauf der Umsetzung Aufschluss zu erhalten. Zu allen Zeiten unentbehrlich wird heute, bei dem unvollkommenen Stande der Muskelchemie, die Untersuchung der in dem Muskel gebildeten Wärme noch von besonderem Nutzen sein, da sie uns, wenn auch nicht über die Art, so doch über die Grösse des Umsatzes einen relativen Maassstab in die Hand giebt, der für die Beurtheilung mannigfacher Erscheinungen des Lebens von Bedeutung werden kann. — Insofern es sich dabei um das Leben des Warmblüters handelt, wird selbstverständlich nur der Muskel eines solchen in den Kreis der Beobachtung aufzunehmen sein. Dass eine Ausdehnung auf dieses Gebiet wünschenswerth sei, wird Niemand mehr bestreiten, sowie es gelungen sein wird, Verfahrungsarten zu finden,

welche neben leichter Anwendbarkeit sichere Ergebnisse versprechen. Zu den Methoden, welche den aufgestellten Forderungen am Muskel des Warmblüters genügen, kann bekanntlich die thermoëlektrische nicht gerechnet werden, wohl aber die thermometrische. Tritt für den ausgeschnittenen Muskel des Kaltblüters der des lebendigen Säugethiers ein und soll dort durch das Thermometer gemessen werden, um wieviel sich die Temperatur während der Zuckung und des Tetanus erhöht hat, so wird der Versuch wesentlich anders als bisher angestellt werden müssen. — Wie er sich zu gestalten hat, hängt in erster Linie von der Leistungsfähigkeit des Thermometers ab.

1. Leistungen des Thermometers. Die Thermometer, über welche ich verfügte, besassen ein cylindrisches Gefäss von 3 mm Durchmesser und 8 bis 10 mm Länge, aus letzterem erhob sich eine Capillare von 0·1 mm Durchmesser, demgemäss betrug der einem Grad C. entsprechende Scalentheil 8 bis 10 mm. Jeder Grad war in Zehntel getheilt, zu 0·1 eines Grades gehörten somit 0·8 bis 1·0 mm. Las man den Stand des Hg-fadens mit der Lupe ab, so war nach einiger Uebung noch das Hundertel eines Grades mit Sicherheit zu schätzen, das Zehntel eines solchen mit aller Sicherheit abzulesen. — Zwei oder mehr Thermometer, die gleichzeitig in Gebrauch genommen wurden, waren selbstverständlich nach bekannten Methoden unter einander verglichen, und für jedes Instrument eine Correctionstabelle entworfen. Durch Instrumente der genannten Art dürfte aber schwerlich die Grenze der möglichen Genauigkeit erreicht sein. Unbeschadet seiner Brauchbarkeit für die Muskeln grosser Hunde dürfte das Gefäss des Thermometers bis zu 20 mm verlängert und dadurch die einem Grade zugewiesene Abtheilung der Scala ebenfalls auf 20 mm zu bringen sein. Der Anfertigung solcher Instrumente steht, soweit ich sehe, nur die Schwierigkeit entgegen, gleichmässig weite Capillarröhren von einer Länge auszuziehen, um die Scala über etwa 10 Grade ausdehnen zu können.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die von mir benutzten Thermometer die Temperatur der Umgebung, z. B. des kälteren oder wärmeren Wassers annahmen, war, wenn der Unterschied seines anfänglichen und des schliesslich zu erreichenden Standes mehrere Grade betrug, eine äusserst rasche. Erst wenn der Unterschied innerhalb und ausserhalb des Instrumentes bis auf weniger als einen Grad herabgemindert war, liess sich der Gang des Hg-Fadens mit der Lupe verfolgen und feststellen, dass das letzte Zehntel eines Grades 3 bis 5 Secunden zur vollen Ausgleichung nöthig hatte.

2. Aufspeicherung und Bewahrung der Wärme im Muskel. Daraus, dass die unbestreitbare, durch die Eintheilung der Scala verbürgte Sicherheit einer Ablesung des Thermometers mit 0·1 Grad C. beginnt,

erwächst die Forderung, dass auf die eine oder andere Art die Reizung des Muskels so lange fortgesetzt werden muss, bis seine Temperatur in den Bereich der genannten Grösse gelangt ist. Und hierin liegt der wesentliche Unterschied zwischen der thermoëlektrischen und der thermometrischen Messung. Erstere ist vermögend, die von einer ganzen, ja nur die von einem Theil einer Zuckung erzielte Temperaturerhöhung zu messen, während sich erst die von einer grösseren Anzahl von Reizen hervorgebrachte Wärme im Muskel aufgespeichert haben muss, bevor ihre Grösse durch das Thermometer unbeanstandet zu erkennen ist. Im Gegensatz zu dem thermoelektrischen beruht das thermometrische Verfahren auf der Voraussetzung, dass sich die im Muskel gebildete Wärme in ihm aufspeichern lasse. Ob und inwieweit hierauf zu rechnen sei, muss darum vor Allem geprüft werden.

Auf wie lange der Muskel die ihm zur Zeit eigene Temperatur bewahrt, lässt sich vorwurfsfrei nur ermitteln, wenn in ihm die Wärmebildung erloschen ist und wenn in allen seinen Abschnitten ein möglichst übereinstimmender Wärmegrad herrscht, der um einen nach vielen Graden bemessenen Betrag dem in der Luft vorhandenen überlegen ist. Der geschilderten Beschaffenheit am nächsten dürfte ein Muskel des todten Thieres kommen, welcher während des Lebens bis zur vollen Erschöpfung seiner wärmebildenden Befähigung gereizt und dann noch Minuten hindurch bis zum letzten Herzschlag des Thieres vom Blute durchströmt war. Um die Untersuchung unter möglichst ähnlichen Umständen wie im Leben zu führen, muss das Thermometer schon lange vor dem Tode in den Muskel eingeschoben, das Glied aber, welchem der letztere angehört, sorgfältig mit starken Lagen von Watte umhüllt sein.

Unter diesen Bedingungen sind die folgenden Beobachtungen angestellt. Die Zeit wird vom Aufhören des Herzschlags an gerechnet. Jede lateinische Ziffer bezieht sich auf ein besonderes Versuchsthier.

I.

In der Zeit von					
0 bis 21 Min.	sank der Stand des Therm. von	39·30	auf 39·3° C.,	also in 1 Min.	um 0·0° C.
21 bis 33 „	„ „ „ „ „ „	39·30	„ 39·26° C.	„ „ 1 „	„ 0·001° C.

II.

0 bis 3 „	„ „ „ „ „ „	40·15	„ 40·15° C.	„ „ 1 „	„ 0·0° C.
3 bis 20 „	„ „ „ „ „ „	40·15	„ 39·98° C.	„ „ 1 „	„ 0·01° C.
20 bis 40 „	„ „ „ „ „ „	39·98	„ 39·73° C.	„ „ 1 „	„ 0·013° C.

III.

0 bis 10 „	„ „ „ „ „ „	39·80	„ 38·70° C.	„ „ 1 „	„ 0·01° C.
10 bis 20 „	„ „ „ „ „ „	38·70	„ 38·61° C.	„ „ 1 „	„ 0·009° C.
20 bis 30 „	„ „ „ „ „ „	38·61	„ 38·52° C.	„ „ 1 „	„ 0·009° C.

Rechtes Bein. IV a.

0 bis 5	Min. sank der Stand des Therm. von	36·52	auf 36·47° C.	also in 1 Min. um	0·01° C.
5 bis 16	„ „ „ „ „ „ „	36·47	„ 36·33° C.	„ „ 1 „ „	0·013° C.
16 bis 36	„ „ „ „ „ „ „	36·33	„ 35·73° C.	„ „ 1 „ „	0·03° C.

Linkes Bein. IV b.

0 bis 5	„ „ „ „ „ „ „	36·34	„ 36·27° C.	„ „ 1 „ „	0·014° C.
5 bis 16	„ „ „ „ „ „ „	36·27	„ 36·12° C.	„ „ 1 „ „	0·014° C.
16 bis 36	„ „ „ „ „ „ „	36·12	„ 35·50° C.	„ „ 1 „ „	0·03° C.

Zwischen den Mm. rectus und vastus internus des sorgfältig umhüllten Schenkels eingebettet, bewahrt das Thermometer die im Leben empfangene Temperatur viele Minuten hindurch auch nach dem Stocken des Blutstromes in der Haut. Von Seiten der Abkühlung ist darum für die Speicherung der Temperatur nichts zu befürchten.

Eine andere Gefahr könnte aus der Art und dem Ort erwachsen, wie und wohin das Thermometer eingeschoben werden muss. Ringsum muss dasselbe von rothem Muskel umgeben sein, so dass, um das Thermometer so einzubetten, ein Spalt in die Mitte des Muskels geschnitten sein muss. Man kann erwarten, dass bei einem solchen Handgriff ein wenn auch beschränkter Theil der Faserung zerschnitten und zerquetscht und damit um seine Reizbarkeit gebracht werde. Dann wird das Thermometer, durch eine Lage schlecht leitenden Stoffes von den gereizten Fasern getrennt, nur sehr allmählich auf die Temperatur des lebendigen Antheils der Muskeln gelangen. Doch lässt sich durch die Wahl des Ortes, an welchem der Einschnitt geschieht, und durch die Vorsicht, mit welcher das feine und glatte Gefäss des Thermometers zwischen die Faserung eingeführt wird, die befürchtete Störung vermeiden. In sämmtlichen, am Hunde ausgeführten Beobachtungen wurde das Thermometer zwischen den Rectus und Vastus intern. eingebracht. Der Schnitt, welcher den Zugang zur Muskelmasse eröffnen sollte, wurde noch in die sehnige Verbindung der beiden Bäuche gelegt und das Thermometer von ihm aus zwischen die leicht trennbaren Faserungen eingeschoben. Vorsichtig ausgeführt vermeidet die einfache Operation jede, auch die kleinste Blutung zum Beweise dafür, dass durch dieselbe keine Zerreissungen der Muskeln und der sie begleitenden Gefässe bedingt worden sei. Hierfür lässt sich noch ein weiterer Grund erbringen. Bevor ich jedoch die Versuche beschreibe, die gegen eine schädliche Verletzung des Muskels sprechen, empfiehlt es sich, einer anderen Unvollkommenheit zu erwähnen, die allen Messungen der Muskeltemperatur der thermoelektrischen wie der thermometrischen anhaftet.

3. Die messenden Instrumente berühren stets einen nur beschränkten Theil des Muskels und deshalb lassen sie uns darüber in Ungewissheit, ob

die Temperatur ihrer Umgebung sich gleichmässig über den ganzen Muskel hin erstrecke. Von vornherein hat die Annahme am meisten für sich, dass die Temperatur verschiedener Orte ungleich hoch stehe, denn wäre sie überall gleich, so müsste den zahlreichen, unabhängig nebeneinanderstehenden Fasern eine vollkommen gleiche Leistungsfähigkeit zugeschrieben werden. Für gleichgültig ist aber die hier verbleibende Ungewissheit deshalb nicht zu erachten, weil sie die Folgerungen beeinträchtigt, die aus der gemessenen Temperatur für den gesammten Betrag der vom Muskel gelieferten Wärme gezogen werden können.

Da ich mich ohnedies noch davon überzeugen musste, wie rasch das Thermometer seine Temperatur mit der der nächsten Umgebung ausglich, so lag es nahe, hierbei auch über den eben besprochenen Punkt Aufschluss zu suchen. Zu seinem Verständniss genügt eine kurze Beschreibung des angewendeten Verfahrens. In der von M. Smith[1] beschriebenen Weise wird die Aorta thoracica verschlossen, darauf mit der Ablesung des Muskelthermometers begonnen und fortgesetzt, bis sein Stand sich unverrückt auf derselben Höhe hält. Alsbald wird der N. cruralis mit Inductionsschlägen so lange gereizt, bis die Temperatur um mehr als 0·1° C gestiegen ist. Dann wird der reizende Kreis eröffnet und unter fortgesetztem Verschluss der Aorta das Thermometer solange hindurch abgelesen, bis sich seine Säule fest eingestellt hat. Nun wird der Aortenschluss beseitigt und nach einer bald grösseren, bald kleineren Zahl von Minuten der Versuch in der beschriebenen Reihenfolge wiederholt. — Beobachtungen solcher Art habe ich an 16 Hunden 274 Mal angestellt, mit den folgenden Ergebnissen:

Vor dem Beginn der Reizung stieg das Thermometer in der Regel nur um weniges — um Hundertel eines Grades — oder auch gar nicht; zuweilen aber ging es, bevor Ruhe eintrat, um 0·1 und mehr im Verlaufe von 10 Minuten empor. Im äussersten zur Beobachtung gekommenen Falle hatte sich nach der genannten Zeit der Stand des Thermometers um 0·18° C über den erhoben, welcher ihm beim Verschliessen der Aorta eigen gewesen war.

Das Ansteigen des Thermometers verhielt sich nicht bloss in verschiedenen Thieren ungleich; auch von demselben Muskel aus ward es wechselvoll in den aufeinanderfolgenden Zeiträumen bedingt, die zwischen dem Verschluss der Aorta und der beginnenden Reizung des Nerven verstrichen. So fanden sich u. A. unter den 16 Beobachtungen, die von dem Thiere gewonnen wurden, das einmal eine Temperatursteigerung von 0·18° C nachgewiesen hatte, drei solcher, in welchen das Thermometer auf seinem Stande verharrte.

---

[1] *Dies Archiv.* 1884. S. 262.

Auf zweierlei Ursachen lässt sich das Wachsthum der Temperatur in der Nähe des Thermometers zurückführen. In dem Abschnitt, welcher dem Aortenschluss vorausging, werden die verschiedenen Orte des Muskels voraussichtlich ungleich warm gewesen sein; nach dem Stocken des Blutstroms aber müssen sich die vorher bestandenen Abweichungen ausgleichen. Bei diesem Erklärungsgrund für die Aenderungen im Stand des Thermometers würde man sich beruhigen, wenn die Beobachtung auch zuweilen ein Sinken der Scala nachwiese, da nicht einzusehen ist, warum gerade die Umgebung des Thermometers sich während des andauernden Blutstroms stets mehr als andere Abschnitte des Muskels abkühlen sollte. — Desshalb wird man geneigt sein auch der Annahme Beachtung zu schenken, dass der Umsatz, welcher dem ruhenden Muskel niemals fehlt, zeitweise eine Lebendigkeit gewinnen könne, die zu einer merklichen Erhöhung des Wärmegrades führt.

Unter den 274 Beobachtungen, welche sich auf den Stand der Hg-säule nach beendeter Reizung des Nerven beziehen, traf es sich 73 Mal und zwar bei 15 verschiedenen Thieren, dass das Thermometer genau auf dem Punkte verharrte, auf welchen es die Reizung emporgetrieben hatte. In 86 Beobachtungen war das Ansteigen nach einer Minute, in 40 Fällen nach zwei Minuten, in 36 Fällen nach drei Minuten, in 23 Fällen nach vier Minuten beendet. Der Betrag und der Verlauf des nachträglichen Steigens war in den angestellten Beobachtungen wechselvoll. Meist hob sich der Stand nur um 0·01, zuweilen aber auch um mehr, bis zu 0·05° C und, wenn auch nicht immer, mit abnehmender Geschwindigkeit. Einigemale nämlich setzte sich das ursprünglich vorhandene Ansteigen während der Dauer einer Minute zur Ruhe, um nachher von Neuem zu beginnen.

In dem Rest der Beobachtungen kam das Thermometer erst nach sieben Minuten zum Stillstand, wobei das nachträgliche Wachsthum zu 0·10 bis 0·13° C gelangt war.

Von den Beobachtungen mit dauerndem und starkem Nachwuchs der Temperatur geben die Zahlenreihen der folgenden Seite eine Anschauung. Vor der Betrachtung der Zahlen wolle man sich daran erinnern, dass während der ganzen Beobachtungsdauer der Muskel aus dem Blutstrom ausgeschaltet war, dass vom Beginn bis zum Ende des Versuchs das Thermometer in dem Muskel eingeschaltet und die Umhüllung des Beines unberührt blieb.

In der überwiegenden Mehrzahl der Beobachtungen verharrte somit das Thermometer auf dem Stande, welchen es am Ende der Reizung erreicht hatte, oder es überstieg ihn nachträglich nur um ein sehr geringes. Die von dem Instrument nachgewiesene Temperatur wird demnach näher und ferner von dem Standort des Thermometers vorhanden gewesen sein, weil die grössere seit der ersten Ablesung verstrichene Anzahl von Minuten

Während 5 Minuten vor dem Beginn der Reizung	Während der Reizung. In den Gruppen 1 bis 15 Tetanus von 1 Min. Dauer; in den folgenden je 100 Zuckungen.	Nach beendeter Reizung steigt die Temperatur in								Summe des nachträglichen Steigens
		1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.	6 Min.	7 Min.	8 Min.	
Um 0·0° C.	38·05 f. 38·45 = 0·40	0	—	—	—	—	—	—	—	0·00° C.
0·04	38·04 f. 38·33 = 0·29	0·03	0·00	—	—	—	—	—	—	0·03
0·00	38·00 f. 38·34 = 0·34	0·03	0·00	—	—	—	—	—	—	0·03
0·03	38·07 f. 38·34 = 0·27	0·01	0·02	0·00	—	—	—	—	—	0·03
0·04	38·10 f. 38·33 = 0·23	0·02	0·02	0·00	—	—	—	—	—	0·04
0·02	38·17 f. 38·36 = 0·19	0·01	0·02	0·02	0·01	0·01	0·00	—	—	0·07
0·03	38·23 f. 38·41 = 0·18	0·03	0·02	0·01	0·01	0·02	0·00	—	—	0·09
0·01	38·24 f. 38·38 = 0·14	0·03	0·02	0·01	0·01	0·01	0·01	0·01	0·00	0·10
0·02	38·29 f. 38·47 = 0·18	0·02	0·01	0·02	0·01	0·01	0·01	0·01	0·00	0·09
0·03	38·36 f. 38·46 = 0·10	0·01	0·02	0·01	0·01	0·02	0·00	—	—	0·07
0·03	38·40 f. 38·59 = 0·19	0·01	0·02	0·01	0·01	0·02	0·00	—	—	0·07
0·03	38·50 f. 38·58 = 0·08	0·02	0·02	0·01	0·01	0·01	0·00	—	—	0·07
0·02	38·54 f. 38·72 = 0·18	0·02	0·02	0·02	0·01	0·00	—	—	—	0·07
0·02	38·61 f 38·72 = 0·11	0·03	0·00	0·01	0·02	0·00	—	—	—	0·06
0·09[1]	38·82 f. 39·02 = 0·20	0·03	0·02	0·03	0·02	0·00	—	—	—	0·10
0·02	38·78 f. 38·93 = 0·15	0·04	0·03	0·03	0·01	0·00	—	—	—	0·11
0·13	39·00 f. 39·27 = 0·27	0·01	0·00	—	—	—	—	—	—	0·01
0·09	39·17 f. 39·43 = 0·26	0·03	0·03	0·00	—	—	—	—	—	0·06
0·10	39·13 f. 39·33 = 0·20	0·00	—	—	—	—	—	—	—	0·00
0·13	39·04 f. 39·21 = 0·17	0·01	0·01	0·02	0·01	0·00	—	—	—	0·05
0·05	38·88 f. 39·08 = 0·20	0·03	0·01	0·03	0·02	0·01	0·02	0·00	—	0·12

	Wachsthum der Temperatur während der Reizung. Zuckungen	Wachsthum der Temperatur in den auf die Reizung folgenden							Gesammter Zuwachs der Temperatur n. d. Reizung
		1 Min.	2 Min.	3 Min.	4 Min.	5 Min.	6 Min.	7 Min.	
1	38·03 f. 38·28 = 0·20° C.	0·03	0·03	0·03	0·01	0·02	0·01	0·00	um 0·13° C.
2	38·07 f. 38·33 = 0·26	0·03	0·03	0·01	0·00	—	—	—	0·07
3	38·04 f. 38·32 = 0·28	0·03	0·00	—	—	—	—	—	0·03
4	38·15 f. 38·42 = 0·27	0·05	0·02	0·00	—	—	—	—	0·07
5	38·15 f. 38·43 = 0·28	0·03	0·01	0·00	—	—	—	—	0·04
6	38·15 f. 38·44 = 0·29	0·04	0·02	0·02	—	—	—	—	0·08
7	38·25 f. 38·43 = 0·18	0·05	0·02	0·02	0·01	0·02	0·00	—	0·12
8	38·47 f. 38·65 = 0·18	0·03	0·02	0·00	—	—	—	—	0·05
9	38·53 f. 38·72 = 0·19	0·03	0·01	0·03	0·02	0·00	—	—	0·09
10	38·63 f. 38·81 = 0·18	0·02	0·02	0·01	0·01	0·00	—	—	0·06
11	38·64 f. 38·82 = 0·18	0·03	0·03	0·01	0·01	0·00	—	—	0·08
12	38·63 f. 38·82 = 0·19	0·03	0·02	0·01	0·00	—	—	—	0·06
13	38·64 f. 38·83 = 0·19	0·03	0·01	0·01	0·01	0·00	—	—	0·06
14	38·72 f. 38·91 = 0·19	0·02	0·02	0·01	0·01	0·00	—	—	0·06
15	38·75 f. 38·93 = 0·18	0·02	0·01	0·00	—	—	—	—	0·03
16	38·77 f. 38·90 = 0·13	0·00	—	—	—	—	—	—	0·00

jedenfalls ausgereicht haben würde, um eine von anderswoher herandringende Abkühlung oder Erwärmung sichtbar werden zu lassen. Beobachtungen wie diese sind darum nach allen Richtungen hin vertrauenswürdig.

---

[1] Bis dahin jedesmal Tetanus, in den folgenden Reizungsperioden je 100 Zuckungen.

Beobachtungen, die mit den eben genannten übereinstimmen, beweisen, dass das Thermometer die Temperatur der Umgebung sich rasch angeeignet und dass innerhalb des Muskels eine überall gleiche Wärme geherrscht habe. Um die wahrscheinliche Annahme, dass sich der Muskel aus ungleich leistungsfähigen Fasern zusammensetzt, mit dem thatsächlichen Befund einer überall gleichmässigen Temperaturerhöhung in Uebereinstimmung zu bringen, wird man vorauszusetzen haben, dass die Fasern ungleicher Begabung durch den ganzen Muskel hindurch gleichmässig gemengt und vertheilt seien.

Einen gleichen Rang können dagegen die Fälle nicht beanspruchen, in welchen das Thermometer nach der Verschliessung der Aorta in der Ruhe vor und nach der Reizung anstieg. Sie sind zweideutig, denn ihr Ergebniss erklärt sich ebensogut aus einer stetigen Neubildung, als aus einer Zuleitung von Wärme. Allerdings ist die erstere Annahme die wahrscheinlichere. Niemals nahm in jener Zeit die Temperatur in der Nähe des Thermometers ab, was unter der Voraussetzung, dass das Emporgehen des Hg von einer Zufuhr abhängig gewesen, nur dann erklärlich bleibt, wenn der Ort des Instrumentes durchweg kühler als andere gewesen wäre, etwa darum, weil seine Umgebung aus zerstörtem Gewebe bestand. Hiergegen spricht nun der Befund, dass an demselben Muskel mitten zwischen den Fällen von nachwachsender Temperatur andere stehen, in welchen die Säule des Thermometers unbeweglich verharrte. Indess Wahrscheinlichkeiten liefern keine Beweise und so ist das Einzige, was aus den Beobachtungen entnommen werden kann, die Mahnung, erst nach der Einstellung des Thermometers auf einen festen Stand die Reizung zu beginnen und nach beendeter Reizung den Schluss des Ansteigens abzuwarten.

4. Vorbereitung des Muskels. An dem grossen Streckmuskel des Unterschenkels der Hunde sind die zahlreichsten meiner Versuche angestellt worden. Für ihre Zwecke war es nöthig, den Nerv. cruralis mit Elektroden zu umgeben, das Thermometer in das rothe Fleisch einzusenken, endlich die Sehne des Muskels freizulegen, damit die unter verschiedener Belastung ausgeführten Zuckungen aufgeschrieben werden konnten. Einer ausführlichen Beschreibung der vorzunehmenden Operationen dürfte ich überhoben sein, da sich aus der genauen und unentbehrlichen anatomischen Kenntniss ihre Durchführung von selbst ergiebt. Unter Hinzuziehung der Zeichnung (Taf. X) dürften die folgenden Bemerkungen genügen. Der N. cruralis wurde ganz nahe am Poupartischen Bande aufgesucht, durchschnitten und in die bekannten Hartgummielektroden eingeführt. Nerv und Elektroden wurden, um die Isolation zu vervollständigen, noch mit Guttaperchapapier umgeben. Nach Vollendung dieser Aufgabe, die, wie ich betone, ohne allen

Blutverlust gelöst werden muss, wurde die Haut um den Schaft der Elektroden sorgfältig vernäht. Zum Orte der Wärmemessung wurde der Spalt zwischen Vastus intern. und rectus gewählt, etwa in der Mitte des Oberschenkels an der in der Taf. X bezeichneten Stelle. Da die genannten Bäuche des Streckers an dieser Stelle noch nicht in der Sehne verschmolzen, vielmehr nur durch lockeres Bindegewebe zusammengeheftet sind, so kann das Thermometer unblutig in den vorgezeichneten Spalt eingeschoben werden. Man beachte, dass das Gefäss des Thermometers ohne den Knochen zu berühren, von rothem Fleische vollkommen bedeckt werde. Die kleine Hautwunde wird nach der Einschiebung des Instruments ebenfalls sorgfältig vernäht. — Zeitraubender und umständlicher ist die Loslösung der Strecksehne, welche darum am vortheilhaftesten vor den beiden früher genannten Handgriffen ausgeführt wird. Bedingung dafür, dass die Verkürzung des Muskels vollkommen auf den Schreibhebel übertragen werde, ist ausser der Abtrennung der Sehne von dem Höcker der Tibia, die Durchschneidung aller Sehnenblätter, die zur Kniescheibe hinlaufen und aller die oberhalb der letzteren von der Fascia femoralis mit der Strecksehne sich verbinden. Ob des grossen Gefässreichthums, der die Umgebung des Knies auszeichnet, gewährt bei diesem Theile der Operation der Thermokauter der Chirurgen eine wesentliche Hülfe. War die Strecksehne und das untere Ende des Muskels soweit herausgelöst, dass sie und die Kniescheibe leicht und frei bewegt werden konnten, so wurde in und um das untere freie Ende der Sehne eine feste Schnur eingenäht und geknüpft, dann die Seitenränder der U-förmigen Hautwunde vernäht, mit der Vorsicht, dass sich durch den freigelassenen Spalt die Schnur ungehindert verschieben liess.

5. Dass die Operationen am Halse und am Schenkel während der Narkose erfolgten, bedarf weniger der Erwähnung als der Umstand, dass die lange Dauer des Versuchs eine mehrmalige wiederholte Zuführung des betäubenden Stoffes nothwendig macht. Wendet man — wie ich es that — eine Lösung von Chloralhydrat zur Betäubung an, so bringt es Vortheile, ein mit der genannten Lösung gefülltes Messrohr in dauernder, periodisch verschliessbarer Verbindung mit der V. jugularis zu erhalten, und soll, was zum Gelingen des Versuchs beiträgt, die Vergiftung bis zum Erlöschen der freiwilligen Athmung getrieben werden, so muss zur Einleitung der künstlichen Athmung eine Luftröhrenfistel angelegt sein.

6. Niederschrift der Zuckungen. Für alle Ziele der thermischen Untersuchung vortheilhaft, wird für einige derselben die Kenntniss der vom Muskel gelieferten Zuckungen zur Nothwendigkeit. Von den Umständen, welche eine getreue Niederschrift derselben erschwerten und den Mitteln

die zu der Beseitigung der Hindernisse dienen sollten, wird zunächst die Rede sein.

Ohne die blutigsten, sein Leben gefährdenden Eingriffe lässt sich der Muskel nicht aus dem Zusammenhang mit einem grossen Theil seiner Nachbargebilde lösen; er nimmt demnach an den Bewegungen des Körpers einen Antheil. Beschränkt kann die Beweglichkeit dadurch werden, dass das untere Ende der Tibia in einen festen Halter eingespannt wird, aber vollkommen beseitigt nur durch eine Narkose, die bis zum Stillstand der selbstthätigen Athmung führt. Dass dieses, ohne den Herzschlag zum Schweigen zu bringen, mittels Chloralhydrat gelingt, ist ebenso bekannt, als auf die Dauer schwierig. Nach kürzerer oder längerer Zeit muss, wenn die ersten Anzeichen der natürlichen Athembewegungen wiederkehren, die Einführung des Beruhigungsmittels wiederholt werden. Da sich die Nothwendigkeit hierzu öfter während eines Zeitpunktes einstellt, welcher die Aufmerksamkeit des Beobachters anderweit vollauf beansprucht, so wird manche sonst untadelhaft durchgeführte Versuchsreihe durch die Bewegungen des Thieres beeinträchtigt. Die bis dahin in regelmässigem Abfall niedergeschriebene Zuckungsreihe bietet dann periodisch wiederkehrende Steigungen und Senkungen der Höhe. Wie solche Störungen anders als durch die stete Aufmerksamkeit, am besten durch die eines Gehilfen zu beseitigen seien, wüsste ich nicht anzugeben. — Auf diesen Punkt wird die Methodik noch ihre Aufmerksamkeit zu richten haben.[1]

Die Zuckungen des Säugethiermuskels sind weit hastiger als die des Kaltblüters; und ihr Umfang ist einem bedeutenden Wechsel unterworfen mit der Grösse der Ermüdung und Belastung des Muskels, endlich mit der gewählten Stärke des Nervenreizes. Nach manchen Versuchen die hieraus entstehenden Schwierigkeiten zu beherrschen, bin ich bei dem folgenden Schreibzeug stehen geblieben, das zwischen dem von der Sehne herkommenden Faden und dem sich abrollenden Papier eingeschaltet war. Siehe Holzschnitt 1.

An einem starken senkrechten Stab, der durch eine in der Zeichnung nicht wiedergegebene Gegenstütze vor Schwankungen bewahrt war, befanden sich mittels der gewöhnlichen Eicheln angeschraubt zwei in Spitzen gehende Achsen *a*, *i* und das Führungsröllchen *C*. Die untere der beiden Achsen trug die Rolle *a*, durch welche die von der Sehne herlaufende Schnur *s* aus der wagrechten in die senkrechte übergeführt wurde. — In die obere Achse *i*,

[1] Den Wirkungen des Chloralhydrats gewährt die Verstopfung der Aorta oft eine sehr merkliche Unterstützung. Das vor der Ausführung der letzteren noch bewegte Thier sinkt mit dem Aufblähen des Stopfbeutels sogleich in tiefe Ruhe. Ob der stärkere Blutstrom an sich oder die grössere Menge des mit jenem zugeführten Giftes in Betracht kommt, will ich fraglich lassen.



welche von der unteren um mehrere Hundert Millimeter entfernt stand, war eine Rinne eingefalzt und an sie war ein gradliniger stählerner Rundstab *H* angeschraubt, der als zweiarmiger Hebel wirkte. Aus der Rinne von 10 mm Durchmesser dort umgeschlagen und in einer Oeffnung festgeknotet lief ein starker Faden hervor, welcher nachdem er noch über das Röllchen *C* gelaufen war, eine Eisenplatte *d* trug, die zum Aufnehmen der Gewichte bestimmt war. — Zu dem einen, wir wollen sagen, dem hinteren Arme des

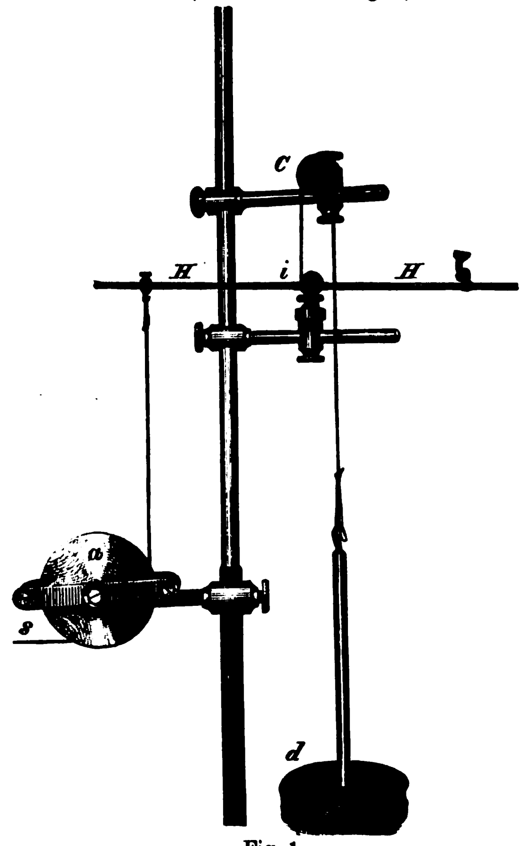


Fig. 1.

Hebels stieg die aus der Sehne kommende Schnur empor. Dort befestigte sie sich an einer kleinen Schraubenhülse, sodass ihr Angriffspunkt näher und ferner der Achse zu schieben war. Am zweiten Arm des Hebels sass ebenfalls mit seiner Hülse verschieblich in einem Aluminiumhalter eine Glasfeder. — Der von Ad. Fick angegebenen nachgebildet, war die Einrichtung geeignet zur Aufzeichnung der sogenannten Gleichgewichtshöhe der Zuckung; sehr umfangreiche Zuckungen konnten durch sie verjüngt, kleinere vergrössert, niedergeschrieben werden.

Obwohl aus den bekannten Entfernungen, in welchen von der Achse aus Gewicht und Muskel angriffen und die Feder aufschrieb, die Uebersetzungen der Last und der Marken abgeleitet werden konnten, hielt ich es doch für gerathen, am Ende eines jeden Versuches die Verhältnisse durch besondere Beobachtung zu ermitteln. Auf Grundlage derselben sind alle in dieser Abhandlung aufgeführten Zahlen berichtigt.

Auf das unendliche Papier, welchem die Zuckungen eingeschrieben waren, wurden selbstverständlich auch die Secunden und die Zeiten der Reizung mit bekannten Mitteln aufgetragen.

7. Reizungsmittel. Für die von einem Reiz erzeugbare Wärmemenge spielt der Zeitraum eine Rolle, welcher sich zwischen ihm und einem vorhandenen eingeschoben hat, was namentlich gilt, wenn die Folge der Reize eine rasche und andauernde wird. Die in Secundenmaass ausgedrückte Zeit, welche zwischen je zwei in gleicher Folge erscheinender Reize verfloss, mag Schlagzeit oder Schlagtact genannt werden. Soll die Wirkung der Schlagzeit rein hervortreten, so muss sie unabhängig von der Stärke des Reizes veränderlich zu machen sein, eine Absicht, welche, wenn es sich um Inductionsreize handelt, dadurch unerreichbar bleibt, dass der galvanische Strom mittels einer schwingenden Masse, etwa des Pendels oder eines federnden Metallstreifens, unterbrochen und geschlossen wird. Pendel und Federn bieten sich für die Bestimmung der Zeit gewiss als die zuverlässigsten Mittel dar; wird ihnen aber die Oeffnung und Schliessung des primären Stromes anvertraut, so können sie der Aufgabe nicht genügen, unabhängig von der Stärke des Einzelreizes den Schlagtact zu ändern, weil mit dem Wechsel der Schwingungsdauer gleichzeitig ein solcher im Verlaufe der Schliessung und Oeffnung des primären und damit des inducirten Stromes einhergeht. Nur ein Uhrwerk vermag das Gewünschte zu leisten.

Ein solches stand u. a. Bohr bei seinen Untersuchungen über den Tetanus zur Verfügung. Obwohl sich der damals verwendete Apparat bei äusserst sorgfältiger Behandlung als vollkommen leistungsfähig erwiesen hat, so erschien sein Ersatz durch einen andern geboten, wenn es sich, wie in meiner Versuchsreihe, um die Ausführung langdauernder, die Aufmerksamkeit nach verschiedenen Richtungen hin beanspruchender Beobachtungen handelte. Dem Entwurf der neuen Vorrichtung, welche nach den Angaben des Hrn. Prof. Ludwig von Hrn. Baltzar gebaut war, lag die Annahme zu Grunde, dass sich von allen in der Leitung des primären Stromes vorzunehmenden Aenderungen die Unterbrechung derselben am gleichmässigsten werde herstellen lassen. Demgemäss wurde zur Reizung der Inductionsstrom benutzt, welcher in der secundären Spirale von du Bois' Schlitten-

apparat beim Oeffnen des primären Kreises entsteht. Das Genauere der Einrichtung wird aus dem Folgenden ersichtlich.

An dem Orte, an welchem die Leitung des primären Stromes unterbrochen werden sollte, war sie durch zwei sich berührende, nur wenig ausgedehnte Platinflächen hergestellt. Eine derselben sass auf einer festen, soweit ersichtlich, nichtfedernden Ebene. Die andere bildete das knopfförmige Ende eines leichten zweiarmigen Hebels. Durch eine kleine Stahlfeder, welche sich gegen den cylindrischen Knopf des Hebelendes stemmte, wurden die beiden Platinflächen sicher und immer gleich stark aneinandergepresst. Unterbrochen wurde der Strom durch einen Druck auf das knopfförmige Ende des zweiten Hebelarmes, der ebengenannten Federung entgegen; der Druck, in Folge dessen sich die Berührung der Platinflächen löste, wurde dem Hebelarm durch Stiftchen mitgetheilt, die über dem Mantel einer drehbaren Walze hervorragten. So oft ein solches Stiftchen sich in Folge der Walzendrehung unter den Knopf des Hebelchens herbewegte, wurde dieser um einen kleinen Bruchtheil eines Millimeters emporgehoben und damit ebensoweit die beiden Platinflächen von einander entfernt. Der Zeitraum, während dessen die Oeffnung des primären Stromes anhielt, wurde bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit der Walze von der Höhe des cylindrischen Knopfes am Hebelende bestimmt; sie betrug etwa 3^{mm}. Damit jedes der mehrfachen Stiftchen, welche auf Umfang des Cylinders eingelassen waren, den Knopf des Hebels gleichmässig ergreifen mussten, war auf seiner dem Stiftchen zugewendeten Seite eine ebene polirte Fläche angebracht. Auf der freien Grundfläche des Hebelknopfes gerade über der Mitte der ebenen Seitenfläche war eine Marke eingefeilt. Ihr gegenüber musste die Stiftchen eingestellt werden, welche den Knopf angreifen sollten. Die zu diesem Ende nöthige Verschiebung liess sich dem Hebel mittels einer feinen, aber kräftigen Schraubenspindel ertheilen, deren Achse parallel mit derjenigen der Walze verlief. Mit dem Hebel musste sich selbstverständlich auch die Platinfläche verrücken lassen, an welcher der constante Strom geschlossen wurde. Darum waren beide Stücke, die Achse des Hebels und der starke ihm gegenüberstehende Stab auf einem plattenförmigen Träger befestigt. Seine der Walzenachse parallele Bewegung war durch zwei Rundstäbe gesichert, die um mehrere Centimeter von einander entfernt, zwei Bohrungen des Trägers durchsetzten. Auf dem Träger, an welchem die zur Schliessung und Unterbrechung des primären Stromes dienlichen Stücke befestigt waren, befand sich noch eine zweite der vorhin beschriebenen gleichen Contactvorrichtung. War sie mit den Enden der secundären Rolle in leitende Verbindung gesetzt, so wurden die Schliessungsinductionsschläge von dem Nerven abgeblendet.

Die Stiftchen, welche die beiden Hebel bewegten, waren, wie er-

wähnt in den Mantel einer Walze eingesetzt, die mit gleichmässiger Geschwindigkeit je nach der Grösse der treibenden Gewichte in 1 bis 2 Secunden eine Umdrehung vollendete. Auf dem Umfang derselben sassen in einer grösseren Zahl von Doppelreihen die Stifte je eine für den Stromunterbrecher und den Abblender bestimmt. Die Einzelreihen enthielten für einen Umfang der Walze 1, 2, 4, 6, 12, 24, 36 Stifte, sodass sich je nach dem Ort, an welchem sich die Hebel befanden, für je eine Umdrehung der Walze der Strom der genannten Stiftzahl entsprechend unterbrechen liess. — Da auf dem Umfange der Walze die Stiftchen einen weit kleineren Raum einnahmen, als die glatten Zwischenflächen, so dauerte die Zeit,

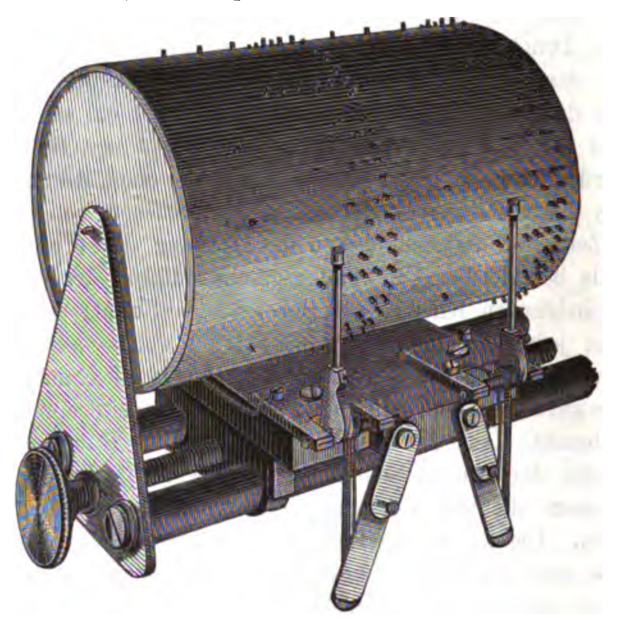


Fig. 2.

während welcher der Strom geschlossen war, länger als die, während er geöffnet war. Desshalb stellte sich der Contact stets vollkommen her. Siehe Figur 2.

Von der Leistungsfähigkeit des Unterbrechers giebt die nachstehende Curve eine Anschauung.

Aus der registrirten ist sie dadurch hergestellt, dass von je 10 der gemessenen Hübe das Mittel genommen wurde. Die Zahl der Zuckungen betrug 150, sie waren untermaximale. Wenn die Ermüdungslinie nicht allen Ansprüchen genügt, welche man nach Kronecker an sie stellen darf, so tragen ein Theil der Schuld die Ungleichheiten in der Lage der Abcisse durch kleine dem Bein mitgetheilte Bewegungen des Thieres veranlasst.

Tabelle der Mittel aus je 10 Zuckungen.

9·26	9·25	3·71
10·67	8·89	3·67
11·50	8·08	3·15
11·94	7·72	2·94
11·84	7·21	2·54
11·63	6·76	2·31
11·34	6·18	1·91
10·78	5·52	1·55
10·50	4·87	1·23
9·52	3·91	1·09

Dieser ähnliche auch aus mehreren Hunderten von Zuckungen abgeleitete Curven habe ich oft, niemals bessere erhalten. Würde man sich auf die Herstellung maximaler Reize und auf die eines einzigen Schlag-

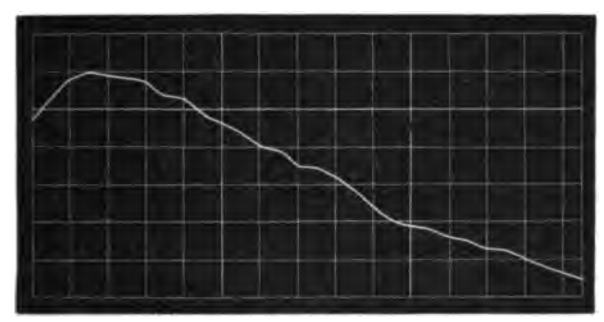


Fig. 3.

taktes von nicht weniger als einer Secunde beschränken, so würde statt des Platin- der Capillarcontact vorzuziehen sein. Bei rascher Folge der Unterbrechungen vollführt dagegen das Hg störende Schwingungen und eine Aenderung des Tactes unabhängig von der Stärke des Schlages würde sich durch den Capillarcontact nur bei Anwendung des maximalen Reizes verwirklichen lassen.

8. Folgen der Aortensperre für den Blutstrom. Weil der Betrag an Wärme, welchen der Reiz im Muskel auslösst, sich nur dann unverfälscht ergiebt, wenn der Blutstrom stockt, so wurde, wie schon erwähnt, auch in meinen Versuchen die Aorta thoracica vor und während der Herbeiführung der Erregung verstopft. M. Smith[1] und Stolnikow[2] haben das hierzu dienliche Verfahren vor Kurzem so genau beschrieben, dass eine Wiederholung der Angaben unnöthig erscheint. Von den dort empfohlenen

[1] A. a. O.

[2] *Dies Archiv.* 1886.

Handgriffen habe ich mir nur darin eine Abweichung erlaubt, dass ich die Einfügung eines Manometers in die A. cruralis unterliess. Seine Verwendung geschah, um eine sichere Nachricht von dem vollkommenen Stocken des Blutstromes in den hinteren Gliedmaassen zu gewinnen. Zu dem gleichen Zwecke diente mir ein Einschnitt durch die Schenkelhaut, welcher die Art. cruralis des nicht gereizten Beines blosslegte. Dem tastenden Finger zugänglich liess sich der leere oder pulsirende Zustand der Arterie stets ermitteln. Ausser dem genannten bietet die Messung der Temperatur des Blutes im Aortenbogen ein feines und untrügliches Kennzeichen für den vollgültigen Verschluss. So lange derselbe besteht, verharrt die Temperatur des Aortenblutes auf dem niederen Stand, welchen sie kurz nach dem Beginn der Absperrung angenommen hat, sowie jedoch ein auch nur sehr theilweiser Nachlass in der Spannung des Stoffbeutels eintritt, macht sich ein dem Umfang des wiederhergestellten Stromes entsprechendes Steigen des Thermometers bemerkbar.

Zur Durchführung eines jeden Versuches war es nothwendig, dass die Aortenlichtung nach einer vorausgegangenen Verstopfung wieder wegsam gemacht wurde, damit das zufliessende Blut den vorher angestrengten Muskel erfrische. Ob und inwieweit sich der Blutstrom nach der Lösung eines oftmals wiederholten Aortenschlusses in der Art. cruralis herstellt, schien einer Prüfung werth zu sein. — Eine zu diesem Ende angestellte Beobachtung ergab:

Zustand der Aorta	Dauer desselben	Mitteldruck in der Art. carotis.
Vor der Absperrung		117 mm Hg
Abgesperrt	3 Minuten	142 „
Offen	2 „	71 „
Abgesperrt	16 „	155 „
Offen	1 „	92 „
Abgesperrt	5 „	125 „
Offen	1 „	73 „
Abgesperrt	20 „	113 „
Offen	— „	15 „

Wenn das Ergebniss des Versuches an dem einen für alle anderen Thiere gilt, so wird aus ihm zu entnehmen sein, dass die aus dem Strome ausgeschalteten Gefässe einen noch genügenden Tonus ihrer Wand bewahren, selbst wenn ihnen das Blut wiederholt und bis zu 15 Minuten langer Dauer hin entzogen war, dass aber bei noch weiter fortgesetztem Wechel zwischen dem Verschluss und der Herstellung der Aortenlichtung die Erschlaffung der Wand einen sehr hohen, das Leben schädigenden Grad erreichen kann. — Jedenfalls mahnt die Beobachtung zur Vorsicht,

welcher ich namentlich dadurch nachzukommen suchte, dass ich die Verstopfung niemals länger als durchaus nothwendig dauern liess und dass die zwischen je zweien gelegene Zeit des freigegebenen Stromes nach 5 bis 15 Minuten bemessen wurde. Dessenungeachtet zeigte sich zuweilen in längern, über Stunden ausgedehnten Versuchen schliesslich der Puls in der Art. cruralis nur noch so schwach ausgeprägt, dass es gerathen schien, von der Fortsetzung der Beobachtungen abzustehen.

Ein Fremdkörper wie unser Stopfbeutel, welcher lange in der Aorta verweilt, wird voraussichtlich Gerinnung des Blutes veranlassen, besonders wenn der Strom zeitweilig still steht. Kehrt der letztere zurück, so entsteht die Gefahr, dass er Flocken des Gerinsels abreisst und mit ihnen Zweige des Cruralgebietes verstopft. Da der Verlauf des Versuches mir zuweilen den Verdacht begründete, dass der Blutstrom innerhalb der Beine durch Emboli gestört sei, so wird man auch auf dies Vorkommen gefasst sein müssen.

9. Gewicht des erregten Muskels. Eine Ergänzung zu den Auswerthungen der Temperatur und des Hubes liefert die Gewichtsbestimmung des Muskels, wodurch, wie A. Fick mit Recht hervorhebt, die thermometrische zu einer calorimetrischen Messung emporsteigen kann. Für die Uebertragbarkeit dieses Gedankens auf den lebenden Muskel des Säugethieres sprechen meine zahlreichen, die langsame Abkühlung des letzteren beweisenden Bestimmungen. Den ganz überwiegenden Antheil der in der Erregung gebildeten Wärme hält der Muskel während einer Zeit zurück, die zur Ermittelung des angenommenen Temperaturgrades genügt.

Bei der Zubereitung des Muskels für die Auswägung ist zu beachten, dass nur drei Köpfe des Unterschenkelstreckers von dem in die Electroden gelegten Nerven erregt werden; der vierte vom Darmbein entspringende wird schon oberhalb des Hüftbandes mit Nerven versorgt. Der Genauigkeit der Wägung geschieht darum kein Eintrag, weil der obere Bauch des Streckers gegen die übrigen scharf begrenzt und ohne Verletzung der anderen ausgeschnitten werden kann. — Weniger sicher als die des Gewichts steht die Kenntniss der specifischen Wärme des Muskels. In wie weit ihr Werth mit dem Wassergehalt der Faser, mit den Blut- und Bindegewebsantheilen im Gesammtmuskel wechselt, müsste genauer, als heute bekannt sein, wenn in die Rechnung statt eines nur angenähert richtigen, der wahre Werth eingesetzt werden sollte.

10. Verlauf des Versuchs. Nach der Vollendung der nöthigen Vorbereitungen gestaltete sich der Verlauf des Versuches folgendermaassen. Zuerst wurden die Stände des in den Aortenstrom und in den Muskel eingesenkten Thermometers abgelesen, dann die Aorta durch Aufblähung des

Stoffbeutels verschlossen, danach der Gang der beiden Thermometer des im Blute und des im Muskel sitzenden beobachtet. War die Temperatur des Blutes gesunken, die des Muskels eine Minute unverändert geblieben, so wurde frühestens zwei Minuten nach dem Aortenschluss die Sehne des Muskels mit dem Gewichte verbunden und sogleich der N. cruralis mit Inductionsschlägen gereizt. Im Voraus war bestimmt, wie gross das Gewicht genommen, wie oft, wie vielmal und wie stark der Inductionsreiz gegeben werden sollte. Während der Muskel seine Zusammenziehungen auf das Papier schrieb, wurden die Aenderungen seiner Temperatur unter Berücksichtigung der fortschreitenden Reizungszeit notirt. Sogleich nach dem Ende der Reizung wurde die Sehne entlastet, mit der Aufnahme der Muskeltemperatur aber bis zum Stillstand ihres Steigens fortgefahren. Nachdem dann noch einmal das in dem Blutstrom eingesetzte Thermometer abgelesen war, wurde der Stopfbeutel der Aorta entleert, wobei man in Acht nahm, ob die bis dahin eingeschlossene Flüssigkeit in einem Strahl hervorstürzte; schliesslich wurde nachgesehen, ob die Pulsation der A. cruralis sich wieder eingefunden hatte. — Auf den beschriebenen Theil des Versuches folgte eine Ruhezeit von vorher bestimmter Dauer, während welcher der Muskel von dem bislang entbehrten Blutstrom durchsetzt wurde. — Nach dem Verfluss der Ruhezeit wurde abermals die Aortalichtung verstopft und der gegebenen Schilderung gemäss fortgefahren. — Jeder Versuch weist also eine Reihe von aufeinanderfolgenden Abschnitten der Ruhe und Reizung auf. Die Zeiten der letzteren werden als Reizgruppen bezeichnet und mit Nummern versehen, welche die Ordnung, in der sie geschahen, angeben.

I.
Ueber die Erholung der Wärmekraft im ruhenden, von Blut bespülten Muskel.

1. Von der Fähigkeit des Muskels sich in einer von dem Blutstrom unterstützten Ruhezeit zu erholen, nachdem seine wärmebildende Kraft durch eine vorausgegangene Reizung, die ihn im blutleeren Zustande traf, geschwächt oder vernichtet war, spreche ich zuerst. Eine Regel, die sich bei diesem Theil meiner Untersuchung ergiebt, wirft auf die Eigenschaften des Muskels ein neues Licht und bestimmt zugleich das bei der Reizung einzuschlagende Verfahren.

Als Maass für die Erholung dient die Zunahme der Temperatur, welche der Muskel durch eine in jeder Hinsicht gleichbeschaffene, zu verschiedenen Zeiten ausgeführte Reizung erfährt. — Die Reizung, von deren Angriffen sich der Muskel erholen soll, kann entweder soweit ausgedehnt werden, dass eine grosse, nach Hunderten bemessene Anzahl von Inductions-

schlägen den einmal erreichten Stand des Thermometers nicht weiter ändert, oder sie kann abgebrochen sein, ehe die Wärmekraft bis zu einem so hohen Grade erschöpft ist. In beiden Fällen werden die Leistungen zweier oder mehrerer aufeinanderfolgender Gruppen verglichen, die je durch eine gleichlange Ruhezeit von einander getrennt sind.

Gesetzt, es bestehe eine Gruppe aus je 100 bis 200 Einzelreizen, welche erfahrungsgemäss nicht hinreichen, um die Wärmekraft des blutleeren Muskel gänzlich zu ermüden, so gestaltet sich mit der fortschreitenden Zahl der Gruppen die Erhöhung der Temperatur folgendermaassen. — In der ersten Gruppe, welcher eine lange Ruhe ohne Reizung voransging, pflegt das Thermometer am höchsten zu steigen. — In der zweiten und einer grösseren Zahl von darauffolgenden Gruppen geht die Temperatur entweder gleichhoch empor oder, wenn sie von Gruppe zu Gruppe abnimmt, so sinkt sie jedesmal um einen nur sehr geringen Werth. — Dann aber folgt ein Abschnitt des Versuches, in welchem von Gruppe zu Gruppe die Wärmebildung steil herabfällt, bis endlich die stärksten Reize nach einer über eine grössere Zahl von Minuten hin ausgedehnten Berührung mit Blut keine durch das Thermometer erkennbare Menge von Wärme erzeugen.

In dem folgenden Beispiel, dessen Zahlen durch die Ueberschriften der Spalten verständlich sein werden, ändert sich von der dritten bis zur zehnten Gruppe der Zuwachs der Temperatur in einem eben merklichen Grade, von der 12. ab erfolgt das Sinken stetig und rasch.

Muskelgewicht 227^{grm}. Belastung 487^{grm}. Ruhezeit 5 Min. Reizfolge 0·75.

Nummer der Gruppe	Zahl der Zuckungen	Ausgangstemperatur	Temperaturzuwachs für 1 Gruppe	Temperaturzuwachs für 1 Zuckung	Bemerkungen
1	51	38·74	0·27° C.	0·0042	Rollenabstand 7 cm (1–13)
2	155	38.80	0·58	0·0037	
3	160	38·93	0·55	—	
4	155	39·09	0·52	—	
5	159	39·30	0·51	—	
6	157	39·53	0·48	—	
7	159	39·70	0·50	—	
8	159	39·85	0·50	0·0031	
9	160	40·04	0·47	—	
10	163	40·25	0·51	—	
11	163	40·48	0·39	—	
12	160	40·66	0·41	—	
13	160	40·80	0·37	0·0023	
14	161	40·90	0·33	—	Rollenabst. 0 cm
15	160	41·06	0·25	—	Rollenabst. 7·0 cm
16	138	41.21	0·27	—	Rollenabstand 0 cm (16–18)
17	166	41·41	0·20	—	
18	153	41·63	0·15	0 0010	

Um den Text nicht durch allzu ausgedehnte Zahlenreihen zu unterbrechen, sind weitere Beispiele in den Anhang verwiesen. Siehe denselben bei I und II.

Wenn der blutleere Muskel 400 bis 600 Reize entgegengenommen, so richtet sich der Grad von Erfrischung, welchen ihm das Blut und die Ruhe zubringen, nach der Stärke des Reizes. Lag sie von der maximalen Grenze entfernt, so erholt sich der Muskel vollkommen und es liefern die folgenden mit stärkeren Reizen ausgeführten Gruppen entsprechend höhere Temperaturen.

Muskelgewicht 377 grm. Belastung 546 grm. Ruhezeit 15 Minuten. Reizfolge 1·15 Secunden.

Nummer der Gruppe	Zahl der Reize in 1 Gruppe	Temperatur vor Beginn der Gruppe	Zuwachs der Temperatur für 1 Gruppe	Zuwachs der Temperatur für 1 Zuckung	Rollenabstand
1	398	39·13° C.	0·21° C.	0·0005° C.	13·5 cm
2	400	39·21	0·32	0·0008	
3	406	39·41	0·31	0·0008	12·0 cm
4	400	39·50	0·34	0·0008	
5	400	39·54	0·42	0·0015	10·5 cm
6	400	39·71	0·39	0·0010	
7	400	39·96	0·58	0·0016	5·0 cm
8	400	40·06	0·50	0·0012	

Wurde dagegen die Reizung schon in der ersten Gruppe voll oder nahezu maximal genommen, so liess die wiederherstellende Befähigung des Blutes rasch nach, sodass in den spätern Gruppen auch die Verminderung des Rollenabstandes den Abfall der Wärmebildung nicht zu beseitigen vermochte.

Muskelgewicht 369 grm. Belastung 750 grm. Ruhezeit 15 Minuten. Reizfolge 1·15 Secunden.

Nummer der Gruppe	Zahl der Reize in 1 Gruppe	Temperatur vor Beginn der Gruppe	Zuwachs der Temperatur für 1 Gruppe	Zuwachs der Temperatur für 1 Zuckung	Rollenabstand
1	399	40·12° C.	0·95° C.	0·0024° C.	7·0 cm
2	411	40·46	0·77	0·0019	
3	402	41·05	0·71	0·0018	
4	599	41·62	0·73	0·0012	
5	300	42.06	0·44	0·0015	
6	600	42·02	0·62	0·0012	5·0 cm
7	500	41·98	0·40	0·0008	
8	400	41·87	0·26	0·0006	
10	400	42·19	0·22	0·0005	0·0 cm

Aus den bis dahin vorgelegten Zahlen leitet sich ein aus den inneren Einrichtungen der Muskeln leicht verständliches Ergebniss ab. Eine gleich dauernde Einwirkung der Ruhe und des Blutes bringt die Folgen der Ermüdung um so vollkommener zum Verschwinden, hebt die Wärmeleistung auf eine um so höhere Stufe, je weniger erschöpft der Muskel in sie eintrat.

Dagegen war ein anderes nun zu erwähnendes Ereigniss, wie mir scheint nicht vorauszusehen. — Durch eine sehr anhaltende Reizung des blutleeren Muskels wird die Wärmebildung schliesslich soweit herabgesetzt, dass 100 und mehr Reize den Stand des Thermometers nicht mehr zu ändern vermögen. Allem Anschein nach ist die Leistungsfähigkeit des Muskels erloschen, und doch kehrt sie sehr ausgesprochen unter dem Zuthun der Ruhe und des Blutes zurück. Diese Eigenschaft legt die folgende Zahlenreihe klar. Nach je 100 Zuckungen wurde in dem Versuch, welchem sie angehört, der Stand des Thermometers abgelesen und damit die Möglichkeit gewonnen, die Gruppen in einen wärmegebenden und -verweigernden Theil zu spalten. Beim Lesen der Zahlen wolle man auf diese Zweitheilung achten.

Muskelgewicht 258grm. Belastung 300grm. Ruhezeit 15 Minuten. Reizfolge 1·1 Secunden.

Nummer der Gruppe	Zahl ihrer Reize	1. Theil der Gruppe Temperaturzunahme für die Zuckungen	2. Theil der Gruppe Temperaturzunahme für die Zuckungen	Rollenabstand
2	606	0·86°C. 1 bis 606		5 cm
3	800	0·74 „ 1 „ 600	0·0°C. 600 bis 800	
4	500	0·15 „ 1 „ 400	0·0 „ 400 „ 500	
5	548	0·52 „ 1 „ 548		
6	600	0·40 , 1 „ 400	0·0 „ 400 „ 600	
7	400	0·35 „ 1 „ 400		
8	400	0·30 „ 1 „ 300	0·0 „ 300 „ 400	
9	400	0·26 „ 1 „ 300	0·0 „ 300 „ 400	
10	300	0·22 „ 1 „ 200	0·0 „ 200 „ 300	0 cm

Ueber Bedingungen und Mittel, durch welche der wärmemüde Muskel sich erholt, geben die Thatsachen einigen Aufschluss.

Der oder die Stoffe, welche den Muskel zur wärmegebenden Erregung befähigen, empfängt er nicht fertig aus dem Blute; denn mit der erfrischenden Wirkung des Blutes kam es zum Ende, wenn der Muskel durch eine ganze Reihe von Gruppen gereizt worden war. Die Wiederherstellung des Vermögens, welches durch eine vorausgegangene Erregung eingebüsst war, setzte gewisse, im Muskel vorhandene Bedingungen voraus; man könnte sich u. A. vorstellen, dass das Blut einen im Muskel schon vorhandenen Stoff aus einem latenten in einen angreifbaren Zustand überführe.

Nach seiner inneren Beschaffenheit wird sich ein Muskel, den der kräftigste Reiz kalt lässt, gewiss verschieden verhalten, je nachdem ihm die Möglichkeit zur Erholung eigen oder genommen ist. Um die beiden Zustände von einander zu unterscheiden, will ich den einen den reiz- den anderen den erholungsmüden nennen.

Niemals wurde der frische oder ihm an Eigenschaften nahe stehende Muskel durch eine fortgesetzte Reizung soweit herab gebracht, dass er der Reizung gegenüber unter allen Umständen versagt hätte. Ruhe und Berührung mit Blut brachten ihm die Erregbarkeit der Wärme zurück. Dem oben gebrauchten Ausdruck entsprechend, würden wir sagen: von dem latenten Stoff, dessen Anwesenheit im Muskel zur Erholung nothwendig ist, kann das Blut nur einen gemessenen Antheil in deu reizbaren Zustand überführen. — Ganz anders, wenn der Muskel mit Reizen bis zur Unwirksamkeit derselben behandelt und wiederholt der Ruhe und dem Zutritt des Blutes anheimgegeben war. Dann war endlich der Reiz, zugleich aber auch das Blut unwirksam geworden, der Muskel war um die inneren Bedingungen gebracht, von welchen die Erholungsfähigkeit durch das Blut abhängt. Und daraus folgt, dass auch das Blut, wieviel es für den Muskel zu leisten mag, an der Zerstörung der Bedingungen einen Antheil nimmt, auf welche sich die Reizbarkeit gründet.

Zur Beurtheilung dessen, was in dem erschöpften Muskel vorgeht, wenn er sich ruhend und vom Blute bespült erholt, würde die Kenntniss des zeitlichen Verlaufes beitragen, nach welchem sich seine Kraft wieder herstellt. Nach dieser Richtung hin habe ich nur wenige Erfahrungen gesammelt; was ich beobachtet spricht jedoch dafür, dass der Zuwachs an Wärme bildender Kraft, welche der erschöpfte Muskel durch seine Berührung mit dem Blute gewinnt, mit der fortschreitenden Ruhezeit rasch abnimmt. Die Zeit von 3 Minuten genügte, um die herabgebrachte Leistungsfähigkeit auf eine Stufe zu erhöhen, die sich nur wenig von der unterschied, welche durch eine längere Dauer der Ruhe erreichbar war. — Fast scheint es, als ob von der fünften Minute ab die Erholung so langsam fortschreitet, dass die nach weiteren 5 bis 10 Minuten hinzugewachsene Wärmekraft gegen die vorher erworbene kaum in das Gewicht fällt. Einigemale schaltete ich im regelmässigen Wechsel zwischen je zwei Gruppen Ruhezeiten von 5 und 10 Minuten ein. Nach der längeren Ruhezeit erhob sich die Temperatur zuweilen um ein weniges höher, als es bei gleichgeschaffener Reizung nach der kürzeren der Fall gewesen, anderemale aber fehlte die günstige Wirkung der längeren Schonung.

2. Die Grösse des Wärmevorrathes im blutleeren Muskel und ihre Erschöpfung durch Reize. Nach dem Stillstand seines Blutstromes konnte aus dem Muskel noch eine endliche Wärmemenge hervorgereizt werden.

In welchen Grenzen schwankt die Grösse des Vorrathes und welche Umstände sind für die Veränderungen bedingend? Zur Beantwortung dieser für die Beurtheilung der inneren Zustände des Muskels wichtigen Fragen suchte ich einen Beitrag dadurch liefern, dass ich wiederholt an möglichst frischen Muskeln die Zahl von maximalen, nach je einer Secunde aufeinanderfolgenden Reizen bestimmte, welche dem Nerven ertheilt sein müssen, bevor eine weitere Vermehrung derselben ausser Stande ist, die erreichte Temperatur zu steigern. Für die Wahl der Versuchsbedingungen war der Wunsch maassgebend, den Muskel zur Zeit seiner möglichst grossen Leistungsfähigkeit anzutreffen und den vorhandenen Vorrath möglichst auszubeuten. Die verschiedenen, von mir untersuchten Muskeln erwärmten sich unter der fortgesetzten Reizung zwar sehr ungleich, aber darin stimmten sie überein, dass sich das Maximum der erreichbaren Temperatur um so höher stellte, je weniger Reizungen dem bis zur Erschöpfung getriebenen Versuch vorausgegangen waren. Einen der oberen Grenze sich nähernden Werth liefern darum nur die frischen, unmittelbar nach der Vollendung der Vorbereitungen angeführten Erschöpfungsgruppen. — Dass für die Absicht, den Vorrath möglichst auszubeuten, maximale Reize besser als alle anderen dienen, bedarf keines Wortes; mehr als die mittelbare würde die unmittelbare, den Muskel selbst treffende Reizung bewirken, doch sie ist aus bekannten Gründen unanwendbar. Einen bestimmenden Einfluss übt neben der Stärke auch die Zeitfolge der Reize. Mit ihrem zeitlichen Abstand wächst bis zu einer Secunde hin die Wirkungsfähigkeit jedes einzeln und darum empfiehlt sich ihr Gebrauch zur Erschöpfung des reizbaren Vorrathes.

Bis die Säule des Thermometers zur Ruhe kommt, müssen dem Nerven 1200 bis 1400 Reize ertheilt sein; der höchste Wärmegrad, welchen danach ein Muskel erreichte, betrug 1·15° C. Von jedem Gramm des Muskels wurde dem entsprechend 1 Calorie entwickelt. Ueber die Grösse des Umsatzes, welcher zur Erzeugung der Wärmemenge nothwendig war, wage ich um so weniger eine Vermuthung, als sie in einem Gebilde vor sich ging, dem kein freier Sauerstoff zur Verfügung steht. — Bleibt nun auch die maximale Leistung des blutfreien Muskels weit hinter der zurück, welche nach M. Smith der vom Blut durchströmte vollführt, so erscheint ihre Grösse immerhin sehr bedeutend.

3. Gang der Wärmeermüdung im blutleeren Muskel. Wie die Bildung der Wärme mit der fortschreitenden Zahl der Reize abnimmt, kann nach dem Speicherungsverfahren nur dadurch ermittelt werden, dass nach je einem bestimmten Bruchtheil der gesammten Gruppe die Temperatur abgelesen wird. Aus der bekannten Zahl von Reizen, welche die gefundene Erhöhung der Temperatur erzeugt hat, lässt sich die mittlere Leistung eines Reizes ableiten und damit die graphische Darstellung des Verlaufes

gewinnen. Wenn der letztere sich einfach und stetig gestaltet, so werden sich auch aus wenigen Punkten, die über die richtige Stelle der Abscisse aufgetragen sind, die fehlenden Abschnitte der gesuchten Linie ohne merklichen Fehler ergänzen lassen. Trifft die letztere Voraussetzung nicht zu, so gewährt das Speicherungsverfahren einen nur unvollständigen Aufschluss über den mit der zunehmenden Zahl der Reize veränderlichen Zuwachs der Wärme.

Meine Beobachtungen lassen sich mit Rücksicht auf den veränderlichen Verlauf der Temperatur folgendermaassen ordnen.

a. Die Zahl der Reize wird nicht über 200 ausgedehnt und nach je 50 derselben wird die Temperatur abgelesen. Nach jedem Viertel der ganzen Gruppe ist das Thermometer um den stets gleichen oder mindestens nahezu gleichen Werth gestiegen. Ein Beispiel für dieses Verhalten bieten die acht ersten Gruppen des folgenden Versuches. In den späteren mit stärkeren Reizen durchgeführten nimmt der Verlauf eine andere Gestalt an. Die Beobachtung kann zugleich zur Verdeutlichung des geringen Einflusses dienen, welchen die über fünf Minuten ausgedehnte Ruhezeit auf die Erholung übt.

Muskelgewicht 326 grm. Belastung 567 grm. Ruhezeit abwechselnd, wie angegeben. Wiederkehr der Reize 0·8 Sec. Zuckungszahl eines Gruppentheiles 50.

Gruppe	Temperaturzuwachs in dem Gruppentheil				Summe der Zuckungen	Summe des Temperaturzuwachses	Anfangstemperatur	Ruhezeit	Rollenabstand
	a	b	c	d					
1	0·10	0·10	0·09	0·11	200	0·40° C.	38·20° C.		11 cm
2	0·07	0·06	0·07	0·07	200	0·27 „	38·30 „	5 Min.	11 „
3	0·08	0·08	0·08	0·08	200	0·32 „	38·21 „	10 „	11 „
4	0·06	0·06	0·06	0·05	200	0·23 „	38·33 „	5 „	11 „
5	0·07	0·06	0·06	0·06	200	0·25 „	38·26 „	10 „	11 „
6	0·05	0·05	0·05	0·06	200	0·21 „	38·30 „	5 „	11 „
7	0·06	0·07	0·06	0·06	200	0·25 „	38·18 „	10 „	11 „
8	0.04	0·03	0·04	0·03	200	0·14 „	38·25 „	21 „	11 „
9	0·00	0·00	0·00	0·00	200	0 „	38·39 „	5 „	11 „
10	0·01	0·01	0·03	0·00	200	0·05 „	38·33 „	10 „	zuerst 11 dann 6 cm
11	0·10	0·10	0·08	0·06	200	0·34 „	38·20 „	5 „	6 cm
12	0·10	0·11	0·08	0·07	200	0·36 „	38·24 „	10 „	6 „
13	0·09	0·09	0·07	0·05	200	0·30 „	38·38 „	5 „	6 „
14	0·10	0·08	0·08	0·06	200	0·32 „	38·40 „	10 „	6 „
15	0·09	0·08	0·07	0·06	200	0·30 „	38·47 „	5 „	6 „
18	0·05	0·11	0·09	0·03	200	0·28 „	39·02 „	25 „	0 „
19	0·02	0·03	0·01	0·00	200	0·06 „	39·24 „	5 „	0 „
20	0·00	0·00	0·00	0·00	200	0·0 „	38·98 „	10 „	0 „

b. Häufiger als das erste erscheint ein zweites Vorkommen, in welchem der Zuwachs der Temperatur, den das erste Glied der Gruppe veranlasst, geringer ausfällt, als der vom zweiten erzielte. Die Curve des veränderlichen Zuwachses beginnt mit einem ansteigenden Schenkel, der jedoch alsbald in einen absteigenden übergeht. In keinem meiner Versuche zeigen alle zu ihm zugehörigen Gruppen das gleiche Verhalten. Wechselnd mit den Gruppen, deren veränderlicher Zuwachs der Temperatur mit einem aufsteigenden Aste behaftet ist, treten andere ein, welchen der eigenthümliche Anfang fehlt. Es liegt nahe, die anfangs geringere und dann bis zu einer gewissen Grenze hin wachsende Wärmebildung, welche die Reizung nach dem Vorausgehen einer längeren Ruhezeit erzeugt, der sogenannten Treppe der Zuckungen gegenüberzustellen, welche unter ähnlichen Bedingungen häufig beobachtet wird.

Zum Nachweis des eben geschilderten Verlaufes mögen die Gruppen 5, 6, 7 des folgenden Versuches dienen.

Muskelgewicht 258 grm. Belastung 300 grm. Ruhezeit 15 Min. Reizfolge 1·1 Secunden. Zuckungszahl eines Gruppentheiles 100.

Gruppe	Temperaturzunahme in den Gruppentheilen (in °C.)								Summa der Zuckungen	Summa des Temperatur-Zuwachses	Anfangs-Temperatur	Rollenabstand
	a	b	c	d	e	f	g	h				
1	0·38	0·27	0·10	—	—	—	—	—	300	0·75°C.	38·59°C.	5 cm
2	0·30	0·24	0·17	0·09	0·04	0·03	—	—	600	0·87 „	38·62 „	5 „
3	0·26	0·21	0·14	0·08	0·03	0·02	0·00	0·00	800	0·74 „	39·03 „	5 „
5	0·15	0·17	0·11	0·04	0·03	0·02	—	—	550	0·52 „	39·30 „	5 „
6	0·14	0·15	0·06	—	—	—	—	—	300	0·35 „	39·53 „	5 „
7	0·11	0·15	0·07	—	—	—	—	—	300	0·33 „	39·77 „	5 „
8	0·14	0·11	0·05	0·01	—	—	—	—	400	0·31 „	39·93 „	5 „
9	0·13	0·10	0·03	0·00	—	—	—	—	400	0·26 „	39·92 „	5 „
10	0·15	0·07	0·01	—	—	—	—	—	300	0·23 „	40·01 „	0 „

c. Endlich, und dieses geschieht am häufigsten, nimmt mit der wachsenden Zahl der Reize vom Anfang bis zum Ende hin die wärmebildende Kraft ab. Unter der Annahme, dass die von je einer Zuckung ausgelösste Wärme in einem geraden Verhältniss zu dem jeweilig noch vorhandenen Vorrath reizbaren Stoffes stehe, wäre zu erwarten, dass die Ermüdung der wärmegebenden Einrichtung ähnlich wie der zuckenden verliefe. Ein geradliniger Abfall der Wärmebildung, welcher sich auch nur entfernt so deutlich wie in den Zuckungsreihen ausprägt, lässt sich jedoch aus meinen Beobachtungen nicht herauslesen. Dass eine ähnliche Schärfe der Erscheinung, wie bei den Zuckungen nicht hervortreten kann, wird durch bekannte Eigenschaften der Wärmeleitung unabhängig von dem

Verfahren der Messung bedingt. Immerhin konnte man erwarten, dass in allen mit dem fortlaufenden Abfall behafteten Versuchen der Gang, nach welchem er fortschreitet, übereinstimme. Aber auch dieser Voraussicht entsprechen die Beobachtungen nicht. Die aus dem Zuwachs der Temperatur über die gleichen Reizungszahlen beschriebenen Curven wenden der Abscisse oft die Concavität und nicht minder häufig die Convexität zu, nicht selten steigt auch der Zuwachs unter Schwankungen herab und namentlich findet sich das eine oder andere Vorkommen in den verschiedenen an demselben Thiere ausgeführten Gruppen vor. Ob die natürlichen Verhältnisse oder Fehler der Methode an den Unregelmässigkeiten die Schuld tragen, muss einstweilen unentschieden bleiben. An einem späteren Orte komme ich noch einmal auf den vorliegenden Gegenstand zurück. — Vielfache Darlegungen des Verhaltens sind im Anhang zu finden (III bis VIII).

4. Reizschwelle der Wärme. — Weniger um etwas Neues zu sagen, als um an bekanntes zu erinnern, erwähne ich, dass sich durch die Speicherung auch die Schwelle des Reizes für die Wärmebildung und zwar unter günstigen Umständen mit sehr grosser Genauigkeit finden lässt. Denn, wenn von 100 und mehr Zuckungen jede einzelne eine für das Thermometer und die Bussole noch unmessbare Erhöhung der Temperatur herbeiführt, so wird sich doch aus der Addition derselben eine deutlich erkennbare Summe herausbilden. — Unter Anwendung eines Rollenabstandes, welcher sehr kleine, um nicht zu sagen minimale Zuckungen auslöst, ist zu erkennen, dass mit einer Stromstärke, welche für die Umformung des Muskels wirksam ist, auch die Wärmebildung anhebt. — Durch einen zweckmässigen Wechsel der Stromstärke in den verschiedenen auf einander folgenden Reizgruppen lässt sich dann auch zeigen, dass die Schwelle des Wärmereizes mit der zunehmenden Ermüdung der Muskel allmählig emporgeht.

Siehe zur Veranschaulichung des Gesagten im Anhang IX A bis G.

5. Ungleiche Zeitfolge gleich starker Reize. Auf verschiedene Art lässt sich die Bedeutung der Zeit prüfen, welche regelmässig wiederkehrend, je zwei gleich starke Reize von einander trennt; u. A. dadurch[1], dass zwei Reizungen verschiedenen Taktes so lange fortgeführt werden, bis jede von ihnen die Temperatur des Muskels um gleichviel erhöht hat, unter der selbstverständlichen Bedingung, dass beide von einer möglichst gleichen Ermüdungsstufe aus beginnen. Für die nachstehenden Gruppen gilt es annähernd.

Das Muskelgewicht betrug 286^{gr}, die Belastung 567^{gr}, die Ruhezeiten 15 Minuten, der Rollenabstand 4^{cm}. Abwechselnd wurde der Nerv tetanisch und zuckend erregt.

Nummer der Gruppe	Zahl der Reize	Dauer der Reizung	Reizfolge	Zugewachsene Temperatur	
				für die Gruppe	für einen mittleren Reiz
1	100	129 Sec.	1·29 Sec.	0·36° C.	3·6 Milligrade
2	1560	60 „	0·040 „	0·34 „	0·22 „
5	100	121 „	1·21 „	0·24 „	2·4 „
6	5130	90 „	0·017 „	0·23 „	0·045 „
7	100	122 „	1·22 „	0·24 „	2·4 „
8	3520	60 „	0·018 „	0·22 „	0·06 „
10	100	130 „	1·30 „	0·21 „	2·1 „

Damit die Temperatur des Muskels um gleichviel erhöht werde, müssen, wie die Beobachtung sagt, von den Reizen rascherer Folge weit grössere Zahlen als von denen langsameren Taktes gegeben sein, dagegen bringt den gewünschten Wärmegrad der Tetanus in kürzerer Zeit herbei als die Zuckungsreihe. Jeder einzelne der tetanischen Reize löste weniger Wärme als ein zuckender aus, doch nicht um soviel weniger als die Trennungszeit abgenommen.

Mit der eben gegebenen ist aber die Darlegung der Bedeutung nicht erschöpft, welche die Trennungszeit zweier sich folgender Reize beansprucht, sie verlangt unter Berücksichtigung bekannter Thatsachen eine wesentliche Ergänzung. M. Smith hat gezeigt, dass der blutleere Muskel einer tetanischen Reizung gegenüber bald versagt, indess ihm meine Versuche eine längere Ausdauer gegen Reize von langsamer Folge zuweisen. Darum wird bei einer anhaltend fortgesetzten Reizung eine andere Gestaltung des Verhältnisses der Zeiten wahrscheinlich, die zur Herstellung der Wärmegleichung zwischen Tetanus und Zuckungsreihen führen. Das Zutreffende dieser Voraussicht wird durch die folgenden Thatsachen bewiesen.

Die erste der jetzt mitzutheilenden Versuchsreihen, welche der Ueberschrift entbehrt, vervollständigt die soeben gegebene. Die zweite ist an einem anderen Thiere angestellt.

I.

1. Zuckungsreihe.

Auf	129	129	137	131	140	Sec. = Sa. 666 Sec.
fallen je	100	100	100	100	101	in Summa 501 Inductionsschläge
mit einer Temperaturzunahme von	0·36	0·27	0·17	0·11	0·06	in Summa 0·97° C.
in Milligraden für 1 Reiz	3·6	2·7	1·7	1·1	0·6	

2. Tetanus. Schlagfolge 0·04 Sec.

Auf	60	60	90	120	120	120	in Summa 570 Sec.
fallen je	1560	1560	2490	3420	3420	3420	in Summa 14820 Inductionsschläge
mit einer Temperaturzunahme von	0·34	0·04	0·03	0·05	0·04	0·03	in Summa 0·53° C.
in Milligraden für 1 Reiz	0·22	0·025	0·012	0·015	0·012	0·09	

5. Zuckungsreihe.

Auf	121	126	128	128	135	in Summa 638 Sec.
fallen je	100	100	100	100	104	in Summa 504 Inductionsschläge
mit einer Temperaturzunahme von	0·24	0·21	0·11	0·05	0·04	in Summa 0·65° C.
in Milligraden für 1 Reiz	2·4	2·1	1·1	0·5	0·4	

6. Tetanus. Schlagfolge 0·018 Sec.

Auf	90	90	120	120	120	in Summa 540 Sec.
fallen je	5130	5130	6840	6840	6840	in Summa 30780 Inductionsschläge
mit einer Temperaturzunahme von	0·23	0·05	0·07	0·03	0·04	in Summa 0·42° C.
in Milligraden für 1 Reiz	0·045	0·010	0·011	0·004	0·006	

7. Zuckungsreihe.

Auf	122	126	132	127	134	in Summa 641 Sec.
fallen je	100	100	100	100	103	in Summa 503 Inductionsschläge
mit einer Temperaturzunahme von	0·24	0·13	0·10	0·09	0·01	in Summa 0·57° C.
in Milligraden für 1 Reiz	2·4	1·3	1·0	0·9	0·1	

II.

Muskelgewicht 430 grm. Belastung 568 grm. Ruhezeit 15 Minuten. Beginn der Reizung 2 Minuten nach Absperrung der Aorta. Rollenabstand 60 cm.

1. Tetanus. Schlagzeit 0·043 Sec.

Es fallen auf die									
Zeit von je .	15	15	30	30	30	60	60	75	in Summa 315 Sec.
an Reizen . . .	346	346	693	693	693	1386	1386	1732	in Summa 7275 Reize
sie geben . . .	0·29	0·04	0·09	0·04	0·03	0·02	0·01	0·00	in Summa 0·52° C.
u. i. Mgr. f. 1 Reiz	0·84	0·12	0·13	0·058	0·043	0·014	0·007		Mittelwerth 0·071 Milligrad.

2. Zuckungsreihe. Schlagzeit 1·3 Sec.

Es fallen auf die Zeit von je	130	130	130	130	130	in Summa 650 Sec.
an Reizen	100	100	100	100	100	in Summa 500 Reize
sie geben	0·25	0·21	0·17	0·11	0·05	in Summa 0·79° C.
u. in Milligraden für 1 Reiz	2.5	2·1	1·7	1·1	0·5	Mittelwerth 1·6 Milligr.

3. Tetanus. Schlagzeit 0·043 Sec.

Es fallen auf die Zeit von je .	40	20	30	30	30	30	60	60	in Summa 300 Sec.
an Reizen . . .	924	462	693	693	693	693	1386	1386	in Summa 6930 Reize
sie geben . . .	0·19	0·11	0·03	0·01	0·01	0·01	0·01	0·02	in Summa 0·39° C.
u. i. Mgr. f. 1 Reiz	0·21	0·24	0·043	0·014	0·014	0·014	0·07	0·014	Mittelwerth 0·056 Milligrade.

4. Zuckungsreihe. Schlagzeit 13 Sec.

Es fallen auf die Zeit von je	130	130	130	130	130	in Summa 650 Sec.
an Reizen	100	100	100	100	100	in Summa 500 Reize
sie geben	0·19	0·19	0·15	0·10	0·05	in Summa 0·68° C.
u. in Milligraden für 1 Reiz	0·9	0·9	0·5	0·0	0·05	Mittelwerth 1·4 Milligr.

Dem Auge, das sich auf die Zahlen richtet, fällt sofort das steile Absinken der Wärmebildung bei der Fortsetzung des Tetanus auf, im Gegensatz zu dem allmählichen Abfall der zuwachsenden Temperaturen während der Zuckungsreihen. Damit kehrt sich das in der ersten Minute vorhandene Verhältniss der Geschwindigkeit in den späteren um. Während anfangs die Temperatur des tetanisirten Muskels weit rascher als die des zuckenden stieg, überholte nun der letztere den ersteren. Alsbald büsst die rasche Folge der Reize ihre Fähigkeit, Wärme auszulösen, ein, während der seltener anlangende Inductionsschlag sie noch fortdauernd bewahrt und dadurch schliesslich aus dem Muskel einen bedeutend höheren Betrag von Wärme hervorlockt, als ihn der Tetanus zu erbringen vermochte.

Die Beobachtung, dass von zweien jedesmal bis zur Unwirksamkeit fortgesetzten Reizungen eine, die tetanisirende, einen weit geringeren Betrag an Wärme in Freiheit setzt, als die Zuckung erzeugende, macht es wahrscheinlich, dass dem Muskel nach dem Versiegen des Tetanus noch ein merklicher Antheil des umsetzbaren Vorrathes eigen ist, welchen er in die Blutleere mitbrachte. Die Vermuthung liess sich dadurch thatsächlich begründen, dass der ausgeruhte Muskel so lange tetanisirt wurde, bis das Thermometer eine Minute hindurch und mehr seinen Stand nicht mehr änderte, dass dem Nerven dann aber plötzlich statt der Inductionsschläge

rascher solche langsamer Folge so lange zugesendet wurden, bis auch sie die Temperatur nicht weiter zu steigern vermochten. Die nachstehenden Zahlen sind das Ergebniss eines solchen Versuchs.

Anfangs Tetanus. Schlagzeit 0·0175 Sec. Dann Zuckungen. Schlagzeit 0·3 Sec. Rollenabstand 4 cm.

A.

Auf je	30	30	30	30	60	60	60	49	Summe 349 Sec.
fallen Reize . .	1710	1710	1710	1710	3420	3420	3420	2793	Summe 19893 Reize
mit einer Zunahme d. Temp.	0·20	0·02	0·04	0·01	0·03	0·03	0·01	0·00	Summe 0·34° C.
in Mgrd. f. 1 Reiz	0·12	0·012	0·023	0·0058	0·0088	0·0088	0·0029	0·00	Mittel 0·017 Mgrd.

B.

Auf je	60	60	60	90	Summe 270 Sec.
fallen Reize	200	200	200	300	Summe 900 Reize
mit einer Zunahme der Temperatur . . .	0·26	0·16	0·10	0·04	Summe 0·56° C.
in Milligraden für 1 Reiz	1·3	0·8	0·5	0·13	Mittel 0·62 Mgrd.

Von den 619 Secunden der Erregungszeit waren 349 Secunden mit 19 893 tetanisirenden und die übrigen 270 Secunden mit 900 Zuckung bringenden Maximalreizen ausgefüllt. Die ersteren begannen, nachdem der Muskel sich ausgeruht und erfrischt, die letzteren nachdem er den Tetanus überstanden hatte. Trotz der Ungunst der Umstände und ihrer um die Hälfte geringeren Zahl erhöhten die Zuckungsreize die Temperatur um das anderthalbfache dessen, was dem Tetanus gelungen war. — Die maximale bis zum Verschwinden der Faserverkürzung fortgesetzte Reizung des Nerven vermochte sonach nur ein Drittel des umsetzbaren Muskelstoffes zu verzehren, vorausgesetzt, es sei erlaubt, als Maass für das Gewicht des letzteren den Betrag der freigewordenen Wärme zu verwenden.

Zum Zeugniss für die Bedeutung, welche der Zeitfolge gleich starker Reize auf den Umfang und den Verlauf der Wärmebildung zusteht, sind die vorgelegten Versuche ausreichend, nicht aber zur Aufstellung eines gesetzmässigen Zusammenhanges zwischen den beiden Veränderlichen. Für die Vervollständigung unserer Einsicht liefern auch die folgenden Mittheilungen nur einen Beitrag.

Beobachtungen, in welchen die Reizfolge zwischen 1, 4 und 0·3 Secunden schwankte, stehen mir zwar nicht wenige zu Gebote, aber unter einander sind ihre Ergebnisse nicht vergleichbar, weil die verschiedenen Reizfolgen nicht an denselben Thieren angewendet wurden. Doch scheint sich soviel aus ihnen entnehmen zu lassen, dass aufwärts von dem kleineren Zeitwerth der Zuckungsfolge an die Wirkung der Einzelreize keine sehr auffällige

Steigerung erfährt. Denn die sehr rasch sich folgenden Zuckungen treiben ähnlich den langsamer ankommenden die Temperatur stark und während langer Zeit empor.

Besonders beachtenswerth ist der Grenzfall, in welchem sich Zuckungen zu rasch folgen, als dass der Muskel in seine Ruhelage zurückzukommen vermöchte. Dass auch hier die Zuckungen als Wärmebilder sich dem Tetanus gegenüber in einem ausgesprochenen Uebergewicht befinden, hat Ad. Fick[1] aufgedeckt und an den Versuch belangreiche Bemerkungen geknüpft. Aus meinen Aufzeichnungen wird hier der folgende Versuch am Platze sein; er bestätigt die Beobachtung Fick's und erweitert sie, weil sich die Dauer der Reizung über die am Frosch angewendete weit hinaus erstreckt.

In jeder Gruppe wurde die Temperatur zweimal abgelesen, in der Mitte und am Ende der Reizung.

Nummer der Gruppe	Zugewachsene Temperatur			Schlagfolge	Zahl der gegebenen Reize
	für 0 bis 30	für 31 bis 60 Secunden	insgesammt		
10	0·15° C.	0·03° C.	0·18° C.	0·085 Sec.	702
11	0·07 „	0·03 „	0·10 „	0·042 „	1381
12	0·17 „	0·02 „	0·19 „	0.085 „	684
13	0·07 „	0·01 „	0·08 „	0·042 „	1404
14	0·016 „	0·02 „	0·018 „	0·085 „	690
15	0·09 „	0·02 „	0·11 „	0·042 „	1381

In 10. 12. 14. Gruppe folgen sich die Zuckungen so rasch, dass ihr abfallender Schenkel die Abscisse nicht erreicht; in 11. 13. 15. glatte Tetani.

In dem Muskel, dessen Länge zwischen der grössten Verkürzung und der Ruhelage die Mitte hält, entwickelt sich die Wärme rascher und damit höher als im Tetanus, aber ebenso vorübergehend als in dem letzteren. Die grössere Wärmeleistung des zuckenden Muskels verdient noch um deswillen eine besondere Beachtung als die Grösse seiner Umformung wegen mangelnder Summirung hinter der des tetanischen zurückblieb. Siehe auch Anhang X.

Bedingen nun auch die ausserordentlich verschiedenen Grössen der Reizfolge, welche einen Tetanus zu erzeugen vermögen, eine unterschiedliche Wärmebildung? Nach einer Richtung hin hat Schönlein[2] die Frage durch Versuche am ausgeschnittenen Froschmuskel mit Nein beantwortet. Maximale Tetani von 0·75 bis 2 Secunden Dauer führten zu stets derselben Erhöhung der Temperatur unabhängig von der in einer Secunde ertheilten

[1] *Festgabe für C. Ludwig.* 1874. S. 153.

[2] *Ueber das Verhalten der Wärmeentwickelung in Tetanis.* 1883.

Zahl der Reize. Neben der für so kurze Zeiten gültigen Regel kann für die längere Reizungsdauer jedoch eine andere bestehen. In Anbetracht der genauen Versuche von Bohr[1] über die Abhängigkeit der Umformung des Muskels von den in der Zeiteinheit angewendeten Reize wird die Giltigkeit eines anderen Verhaltens sogar wahrscheinlich. Nach Bohr bringt eine Zahl von Reizen, die über das zur Erzeugung eines glatten Tetanus nöthige Maass hinausgeht, keine weitere Verkürzung des Muskels hervor, wohl aber beschleunigt sie die Ermüdung. Um zu erfahren, ob sich die Wärmebildung ähnlich verhält, erzeugte ich Tetani von je einer Minute Dauer unter wechselnder Benutzung zweier verschiedener Reizfolgen. Das Ergebniss liefert der folgende, sehr zahlreiche Gruppen umfassende Versuch.

Ruhezeit 5 Minuten. Dauer der Reizung 59 bis 61 Secunden. Schlagfolge wechselnd 0·057 und 0·028 Secunden. Rollenabstand 0. Belastung 900 ^{grm}.

Nummer	Zahl der Reize	Zugewachs. Temperatur	Maximal-Hub	Tetanus □ Fläche	Nummer	Zahl der Reize	Zugewachs. Temperatur	Maximal-Hub	Tetanus □ Fläche
3	1035	0·17° C.	24·7 ^{mm}	99□^{cm}					
					4	2088	0·11° C.	23·6 ^{mm}	74□^{cm}
5	1044	0·13	24·1	78					
					6	2088	0·09	22·9	62
7	1035	0·12	27·3	72					
					8	2144	0·11	22·8	62
9	1035	0·10	20·6	59					
					10	2071	0·06	19·5	46
11	1053	0·12	19·6	54					
					12	2088	0·07	18·9	50
13	1018	0·11	17·5	44					
					14	2071	0·08	18·6	46
15	1053	0·13	19·8	55					
16	1035	0·10	20·0	54					
					17	2071	0·14	21·6	58
18	1053	0·10	17·9	44					
					19	1948	0·08	18·6	46
20	1044	0·12	16·8	39					
22	1027	0·12	18·6	41					
					23	2106	0·11	19·5	51
24	1027	0·11	19·7	59					
					25	2088	0·09	20·7	52
26	1053	0·11	17·8	41					

Im Mittelwerth 0·12 °C und 57□^{cm} Im Mittelwerth 0·09° C. und 54□^{cm}

[1] *Dies Archiv.* 1882. S. 238.

Weitere Beispiele siehe im Anhang unter XI a und XI b, sie bestätigen gleich dem eben vorgelegten, die Vermuthung, welche sich auf die Angaben Bohr's gründete.

Die in dem vorliegenden Abschnitt mitgetheilten Thatsachen lassen sich kurz zusammenfassen: Nur ein Bruchtheil des im Muskel vorhandenen Vorraths an wärmegebendem Stoff kann durch einen Augenblicksreiz ergriffen und umgesetzt werden. Die Grösse desselben nimmt bei gleicher Stärke des Reizes ab mit der Dichtigkeit der Ladung und mit dem Zeitwerth, der zwischen zwei sich folgenden Reizen eingeschaltet wurde. Denn es büsst eine bestimmte Reizfolge ihre Wirksamkeit, welche sie bei einem höhern Betrag an Ladung besass, ein, wenn sich der letztere vermindert hat, und andrerseits steigert sich bei annähernd gleich grosser Ladung die Leistungsfähigkeit der Reize mit der Zunahme ihrer Trennungszeit. Doch gilt das letztere nur in beschränkten Grenzen und in einem besondern Verhältniss zur Dauer der Trennungszeit; nach einer über Secunden hin ausgedehnten Schlagfolge erreicht die Wirkungsfähigkeit des Reizes eine nicht weiter überschreitbare Grösse, während sie, wenn die Trennungszeit sich in den Hunderteln einer Secunde bewegt, mit dem Wachsthum derselben rasch zunimmt. Da die Stärke des Reizes an und für sich von der Schlagfolge unabhängig bleibt, so muss die Ursache ihrer verschiedenen Wirkung in den Vorgängen liegen, die sich innerhalb des Muskels abspielen, etwa darin, dass von dem im Muskel angehäuften, zur Wärmebildung befähigten Stoffen sich stets nur ein bestimmter Bruchtheil in einer Verfassung befindet, vermöge welcher er dem Reize zugängig ist. Ist derselbe unter dem Angriff eines Reizes zerstört, so beginnt von Neuem die Bildung reizbaren Stoffes mit einer von dem Vorrath des wärmegebenden Stoffes abhängigen Geschwindigkeit. — Danach beruhen die Erholungen, welche durch das Blut und die, welche in dessen Abwesenheit durch die Zeit herbeigeführt werden, der Verschiedenheit ihrer Folgen entsprechend auf vollkommen ungleichen chemischen Vorgängen.

Die Macht, mit welcher der Blutstrom in das Innere des Muskels eingreift, erfährt eine Beleuchtung durch die Gegenüberstellung meiner und M. Smith's Beobachtungen. Bei dauerndem Blutstrom bewahrt sich die Reizung ihre Wirkung bis auf Stunden hin und sie kann die Temperatur des Muskels um mehrere Grade steigern trotz der stetigen Abkühlung durch das strömende Blut; in dem blutleeren Zustand dagegen versagt schon nach einigen Minuten die fortgesetzte Reizung und trotz der fehlenden Ableitung von Wärme steigt die Temperatur meist nur um Zehntel, selten bis zu einem vollen Grade.

6. Wärmebildung bei veränderlicher Spannung des Muskels.

Zahlreiche und sorgfältige, am ausgeschnittenen Froschmuskel angestellte Versuche haben Heidenhain[1] auszusprechen veranlasst: „Wenn man den Muskel mit steigenden Gewichten belastet, so steigt bis zu einer gewissen Grenze gleichzeitig die mechanische Leistung und die Wärmeentwicklung desselben; jenseits jener Grenze nehmen beide ab und zwar sicher wenigstens bei Einzelzuckungen, die Wärmeentwickelung früher, als die mechanische Leistung.“

Was am überlebenden zuckenden Froschmuskel aufgefunden wurde, bestätigte sich nach M. Smith keineswegs für den tetanisirten, von Blut durchströmten Säugethiermuskel. Die Höhe der Temperatur, welche der letztere erreichte, blieb sich gleich, ob grössere oder geringere Gewichte an ihm zogen. — Da die Bedingungen, unter welchen ich den Muskel des Säugethiers zucken liess, den am Froschmuskel verwirklichten weit mehr glichen als es in den Beobachtungen von M. Smith der Fall gewesen, so hoffte ich auf einen günstigeren, den obigen Satz bestätigenden Erfolg. Doch so lange umsonst, als ich bei stets gleicher Stärke und Folge des Reizes die Grösse des angehängten Gewichtes von Gruppe zu Gruppe änderte. Unabhängig von dem Umtausch der Last verhielt sich der Zuwachs an Wärme; standen Reiz und die Ermüdung auf gleicher Stufe, so hob sich auch in allen Gruppen die Temperatur auf den gleichen Grad. Zum Nachweis der Erfolge, welche ich von fünf Thieren erlangte, genügt es, wenn ich die Mittelwerthe der Gruppen gleicher Belastung im Text einander gegenüberstelle. Die Einzelheiten sind im Anhang unter XII bis XVII zu finden.

	Geringere Belastung.			Grössere Belastung.			
Versuchs-Nummer	Gruppen-Nummer	Belastung	Temperaturzunahme	Gruppen-Nummer	Belastung	Temperaturzunahme	Rollenabstand
1 a	2 4 6	309 grm	0·43 °C.	1 3 5	487 grm	0·46 °C.	5 cm
1 b	8 10 12	309	0·33	7 9 11	487	0·34	4
2	2 6 8 10 12 14	309	0·57	1 3 5 7 9 11 13 15	558	0·56	5
3	3 5 7 9	412	0·39	4 6 8 10	635	0·37	5
4	3 5 7	362	0·36	2 4 6	675	0·37	9·8
5 a	5 10	902	0·195	4 6 9 11	1349	0·21	} 6
				3 8 12	2018	0·20	
5 b	13 15 17 19 21	344	0·05	14 16 18 20	2018	0·05	0

[1] *Mechanische Leistung, Wärmeentwickelnug* u. s. w. Leipzig 1864. S. 141.

Die Mittel der Temperaturen aus den Reihen mit leichter und schwerer Belastung sind zwar nicht gleich, aber doch nur wenig verschieden und dazu liegt ihr grösserer Werth wechselnd ebensowohl in den Reihen, die mit grosser, wie in denen, die mit geringer Spannung durchgeführt sind. Beachtet man dann weiter die Zahlen unter der Ueberschrift Gruppennummer, so ergiebt sich, dass die Unterschiede auf Rechnung der fortschreitenden Ermüdung zu setzen sind. So oft in einer Reihe der Versuch mit der grössern Last früher als der mit der niederen vorgenommen ist, hat seine Temperatur das Uebergewicht und das Umgekehrte tritt ein, wenn die Reihe mit der geringeren Belastung beginnt.

Den Widerspruch zwischen Heidenhain's und meinen Erfahrungen könnte man lösen wollen durch den Hinweis auf die verschiedene Herkunft der Muskeln. Obwohl sich möglicherweise der lebende Muskel des Säugethiers anders als der überlebende des Frosches verhält, so wird man sich ihrer sonstigen Uebereinstimmung wegen nur ungern bei einer solchen Ausrede beruhigen. — Vielleicht verschulden den Mangel an Uebereinstimmung die grösseren am Froschmuskel angewendeten Abstufungen der Spannung. In meinen Versuchen verhielt sich das leichtere zum schwereren Gewicht wie 3:4 oder 5 und wie 1:2 und nur einmal wie 1:6, bei Heidenhain steigen die Verhältnisszahlen auf 1:10 oder gar auf 1:20. Nun wachsen mit den Unterschieden der Gewichte allerdings auch die der Wärmebildung, aber sie prägen sich am Muskel des Frosches doch schon merklich aus, wenn die Gewichte in denselben Grenzen wie an dem des Säugethiers schwanken. Und wäre auch die Erhöhung der Temperatur, welche die Steigerung der Spannung bei je einer Zuckung hervorbringt, viel geringer beim Hund als beim Frosch gewesen, so müsste die grössere Zahl kleinerer Zuwachse doch ausgleichend gewirkt haben. Wenn aber in den Versuchen von Heidenhain drei Zuckungen mehr als 150 in den meinen vermochten, so dürfte damit das Ungenügende der eben versuchten Erklärung einleuchten.

Noch nach einer zweiten Richtung hin weichen die Versuche Heidenhain's von den meinigen ab. Den jedesmal wenigen Zuckungen, zu welchen der Muskel des Frosches veranlasst wurde, ging eine Zeit der Ruhe voraus, dementsprechend bildet, wie die Mittheilung ihrer Grössen zeigt, die Verbindungslinie des oberen Endes der Zuckungsmarken meist eine aufsteigende Treppe, zum Zeichen dafür, dass die Reizbarkeit zu der Zeit, in welcher die Muskeln zuckten, sich anders verhielt, als es bei einer längeren Fortsetzung der Reizung der Fall gewesen wäre. In meinen auf eine grosse Zahl von Reizen ausgedehnten Reihen nahmen die Zuckungen im Anfang ebenfalls einen treppenförmigen Verlauf, der sich jedoch nach dem Ersteigen der maximalen Höhe in den gradlinig absteigenden umsetzte.

Vielleicht bedingt der Umschlag der Reizbarkeit, welcher sich an die veränderliche Häufigkeit der wiederkehrenden Zuckung knüpft, den Widerspruch unserer Ergebnisse, indem eine bei kleinzahligen Reizen hervortretende Eigenthümlichkeit durch die entgegengesetzte grosszahliger verdeckt wird?

Der unbeseitigbare Widerspruch, in dem sich meine Beobachtungen den ebenso unanfechtbaren Heidenhain's gegenüber befanden, bewog mich neben dem angeführten, noch einen zweiten Weg einzuschlagen. Wenn die Belastung für sich im Stande ist die Wärmebildung zu steigern, so musste es gelingen, durch sie den Einfluss auszugleichen, welchen die Stärke des Reizes übt. Von dieser Annahme ausgehend, war der Versuch derart einzurichten, dass der Muskel in einer Gruppe mit einem grossen Gewicht belastet und mit schwachem Reize zur Zuckung angetrieben wurde, während er in einer folgenden Gruppe mit kleinerem Gewicht dafür aber mit stärkerem Reiz zuckte. Um je zwei oder mehrere Gruppen, die unter den beiden Bedingungen durchgeführt waren, mit einander vergleichbarer werden zu lassen, wurden die Reizungen nur solange fortgesetzt, bis sie jedesmal die Temperatur um den gleichen oder den nahezu gleichen Werth erhöht hatten. — Mir war es nicht vergönnt, den Plan häufig in's Werk zu setzen, was ich umsomehr bedauere, als der einzige nach seiner Vorschrift ausgeführte Versuch mit dem Befund Heidenhain's in Uebereinstimmung gebracht werden kann.

I. Die Reizung wird beendet sowie die Temperatur um 0·2° C gestiegen ist.

Muskelgewicht 162 grm.

Gruppen mit 233 grm Belastung und Reizung bei Rollenabstand 5 cm			Gruppen mit 1014 grm Belastung. Reizung bei Rollenabstand 6 cm		
Nummer der Gruppe	Zahl der Zuckungen	Mittlere Wärmeerhöhung durch 1 Zuckung in Milligraden	Nummer der Gruppe	Zahl der Zuckungen	Mittlere Wärmeerhöhung durch 1 Zuckung in Milligraden
1	211	0·95	2	215	0·93
3	215	0·93	4	240	0·83
5	277	0·72	6	281	0·71
7	297	0·67	8	300	0·67
Mittel	250	0·81	Mittel	259	0·79

Wegen des sichtbaren Forschrittes der Ermüdung wurde der Versuch mit kräftigeren Reizen fortgesetzt und zwar in jeder Gruppe nur solange, bis die Temperatur um 0·10° C gestiegen war.

II. Die Reizung wird beendet, wenn die Temperatur um 0·1° C. gestiegen ist.

Gruppen mit 233 grm Belastung Reizung bei Rollenabstand 0 cm			Gruppen mit 790 grm Belastung Rollenabstand 4 cm.		
Nummer der Gruppe	Zahl der Zuckungen	Mittlere Wärmeerhöhung durch 1 Zuckung in Milligraden	Nummer der Gruppe	Zahl der Zuckungen	Mittlere Wärmeerhöhung durch 1 Zuckung in Milligraden
9	74	1·35	10	67	1·49
11	68	1·47	12	64	1·56
13	78	1.28	14	69	1·45
15	79	1·26	16	66	1·52
Mittel	75	1·34	Mittel	65	1·51

Jetzt scheint es, als ob die geringere Wirkung des schwächeren Reizes durch die der grösseren Last aufgewogen sei, denn in den Gruppen 1 bis 8 ist die mittlere Wärmegabe einer Zuckung unter stärkerem Reiz und geringerer Belastung gleich der bei stärkerer Belastung und schwächerem Reiz und in der 9. bis 16. Gruppe überwiegt, sogar die Wirkungsfähigkeit der Belastung die des Reizes. — Eine Entscheidung darüber zu suchen, ob in der Methode oder in der Eigenheit des Muskels die Abweichung dieses von anderen Ergebnissen begründet sei, wurde versäumt. Sie wäre durch einen Wechsel des früheren mit dem jetzigen Verfahren zu finden gewesen.

Wie man aber den Versuch auch deuten mag, die Thatsache kann er nicht umstossen, dass andere Male die Menge der Wärme, welche im lebenden Säugethiermuskel unter der Herrschaft einer grossen Zahl gleich starker Reize gebildet worden, sich unabhängig von der Belastung erwiesen hatte.

Eine weitere Aufklärung über die Gründe des Widerspruchs der Beobachtungen am Frosch- und Säugethiermuskel ist von Belang für die Erkenntniss der chemischen Vorgänge während der Erregung des Muskels. Fortgesetzte Versuche hierfür sind ein Bedürfniss, umsomehr, als die neuesten Beobachtungen von Ad. Fick[1] Zweifel an den bisher für den Froschmuskel giltigen Anschauungen erwecken.

II.

Ueber die Anwendbarkeit der Wärmespeicherung auf den Muskel des Kaltblüters.

Scharfsinnig hatte Ad. Fick aus den Wärmegaben des tetanisirten Säugethiermuskels erschlossen, dass die von einer Zuckung des kalt- und

[1] *Myothermische Fragen und Versuche.* Würzburg 1884.

des warmblütigen Muskels bedingte Erhöhung der Temperatur nicht weit von einander liegen.

Nachdem meine Versuche das Zutreffende der Voraussicht bestätigt hatten, musste sich auch im Muskel des Kaltblüters die Wärme aufspeichern und die Temperatur mit dem Thermometer messen lassen. Die Aufgabe wurde folgendermaassen gelöst.

1. An Fröschen und Kröten, den allein gebrauchsfähigen unter den verfügbaren Kaltblütern, wurde beiderseits auf der inneren Fläche des Oberschenkels mit der Scheere in die Haut ein kurzer Schlitz geschnitten und das Gefäss des Thermometers in die gebildete Tasche so eingelegt, dass es ringsum von der Oberfläche der unversehrten Muskeln umschlossen war. Ueber das eingelegte Ende des Thermometers wurde die Haut von rechts nach links hin zusammengenäht und die beiden Beine durch Bänder um die Kniee und die Unterschenkel soweit aneinander gedrückt, dass das Thermometer unverrückt liegen blieb. Alsdann wurde das Thier mit dem Rücken nach oben auf einem Korkbrettchen befestigt, seine Plex. ischiadici beiderseits neben dem Kreuzbein unter Vermeidung der Blutung aufgesucht und beide sorgfältig isolirt in die Elektroden aus Hartgummi eingelegt. Auch die hier geschaffene Wunde wurde sorgfältig vernäht. So vorbereitet wurde das Thier in ein oben offenes Kästchen aus Guttapercha eingelegt; in der Wand des Kästchens, welche den Beinen des Thieres gegenüberstand, war zum Durchlass für das Thermometer eine Spalte eingeschlitzt. Der Boden des Kästchens ruhte auf Füssen von Korkholz. Mit dem Kästchen kam das Thier in eine Kammer aus geschliffenem Spiegelglas, die sich aus drei gesonderten Stücken zusammensetzte, einer Bodenplatte, einem Sturz und einer Thür. Auf der Bodenplatte war mit Lack und Glasstreifen eine vierseitige Rinne wasserdicht hergestellt, passend für die Aufnahme und den wasserdichten Abschluss des Sturzes. Der Hohlraum des rechteckigen Sturzes erstreckte sich um 250^{mm} nach der Länge und um je 140^{mm} nach Höhe und Breite; seine Wände waren an den Kanten durch Lack gegeneinander befestigt, ausgenommen eine der schmalen, oben als die Thür bezeichneten. Wenn die Thürplatte in die Rinne des Glasbodens eingesteckt und ihre gefetteten Ränder gegen die entsprechenden des Sturzes angedrückt wurden, so gab sie einen sicheren Verschluss der feuchten Kammer. In die obere, die wagerechte Platte des Sturzes waren drei Oeffnungen gebohrt. Eine zur Aufnahme eines feinen in 0·1 Grad getheilten Thermometers, mit dem sich die Temperatur der Kammerluft bis zu 0·01^{0} C. hin messen liess. Durch die beiden anderen Oeffnungen liefen die Drähte, welche die Elektroden um den Nerven mit der secundären Rolle des Inductoriums verbanden. Eine vierte in die feuchte Kammer führende Oeffnung war in die Thüre gebohrt, durch welche der

Schaft des Thermometers in's Freie geführt und die Theilung mit der Lupe abgelesen werden konnte. — Vor dem Ansetzen der Thür wurden einige Blätter feuchten Fliesspapieres in die Kammer gelegt und nach dem Abschluss derselben alle in die Platten gebohrten Oeffnungen, soweit es nicht durch die Drähte und die Thermometer geschehen, mit Baumwolle verstopft. Viele Stunden hindurch waren vor dem Beginn des Versuches alle hier genannten Theile, das Thier mit eingeschlossen, in dem Zimmer aufgestellt gewesen, so dass sie annähernd wenigstens die Temperatur der Stubenluft angenommen hatten. War, wie beschrieben, der Apparat zusammengestellt, so wurden die beiden Thermometer öfter abgelesen. Betrug der Unterschied in der Temperatur des Muskels und der Kammerluft nur noch Zehntel eines Grades, und konnte man aus der Länge der verstrichenen Zeit auf eine Sättigung der Kammerluft mit Wasserdampf rechnen, so begann nun die Reizung des Nerven. — An die thermische lässt sich, wie kaum zu sagen nöthig, auch die myographische Beobachtung anschliessen, wenn die Sehnen der Muskeln, welche das Thermometer umfassen, mit Fäden umschlungen werden. Die zu einem vereinigten Fäden lassen sich durch eine kleine Oeffnung der Kammerthür nach aussen zu dem Schreibhebel leiten.

2. Unter den mit Kaltblütern vorgenommenen Versuchen habe ich von den Kröten die besten Ergebnisse zu verzeichnen. Mit der Aufzählung derselben werde ich beginnen.

Die beiden dem Versuch unterworfenen Kröten waren frisch eingefangen; eine derselben wurde am Tage nach ihrer Einlieferung, die andere fünf Tage später, während welcher sie im Zimmer aufbewahrt war, in den Gebrauch genommen.

Kröte 1. Gewicht 62 grm. Versuchsdauer 5h 12′.

	Temperatur des Muskels im Beginn der Gruppe	± der Temperatur in der Kastenluft	Zuwachs der Muskeltemperatur während der Reizung	Zahl der Reize in 1 Secunde	Summe der Reize	Ruhezeit vor der Gruppe	Rollenabstand
1	21·16° C.	−0·52° C	0·47° C.	2·5	300		5 cm
2	21·65	−0·11	0·21	2·5	300	10 Min.	5
3	21·92	+0·06	0·16	2·5	300	10	5
4	22·13	+0·20	0·13	2·5	300	10	5
5	22·28	+0·27	0·13	2·5	300	11	5
6	22·43	+0·40	0·10	2·5	300	11	5
7	22·55	+0·41	0·10	2·5	300	10	5
8	22·67	+0·43	0·08	2·5	300	10	5
9	22·77	+0·50	0·06	2·5	300	10	5
10	22·83	+0·58	0·04	2·5	300	10	5
11	22·21	+0·64	0·07	2·5	300	86	5
12	22·28	+0·63	0·04	2·5	300	10	5

Die gesammte während der Reizungen erzielte Zunahme der Temperatur beträgt 1·59° C. Hiervon lieferte der erregte Muskel nach dem Ueberwiegen seiner Wärme über die der Kastenluft = 0·96° C. Bis zur 9. Gruppe hin steigt auch in der Ruhezeit die Muskeltemperatur um ein Weniges; in den ersten sieben Ruhezeiten insgesammt um 0·18° C., welche oben nicht mitgerechnet sind. Da die Kastenluft kühler als der Muskel war, so rührt das Ansteigen von der im ruhenden Muskel entwickelten Wärme her. — Die Temperatur der Kastenluft steigt vom 21·50° bis zum 22·13° C. vom Beginn bis zur 10. Gruppe; in der auf die letztere folgenden Pause von 86 Min. sinkt Muskel und Kastenluft, letztere auf 21·57° C.

Kröte 2. Gewicht 59 grm. Versuchsdauer von 11h 22′ bis 6h.

	Temperatur des Muskels im Beginn der Gruppe	± der Temperatur in der Kastenluft	Zuwachs der Muskeltemperatur während der Reizung	Zahl der Reize in 1 Secunde	Summe der Reize	Ruhezeit vor der Gruppe	Rollenabstand
1	21·23° C.	−0·88° C	**0·55° C.**	1·67	300		10 cm
2	21·77	−0·45	**0·38**	1·67	300	5 Min.	10
3	22·13	−0·09	**0·24**	1·67	300	5	10
4	22·36	−0·05	**0·27**	17·55	1053	10	10
5	22·62	+0·10	**0·26**	35·10	2106	10	10
6	22·86	+0·19	**0·21**	17·55	1053	10	10
7	23·04	+0·25	**0·20**	11·70	702	11·5	8
8	23·23	+0·26	**0·11**	23·40	1404	5	8
9	23·34	+0·29	**0·14**	11·70	702	5	8
10	23·13	+0·42	**0·19**	23·40	1404	52	8
11	23·30	+0·44	**0·16**	11·70	702	5	8
12	23·40	+0·46	**0·14**	23·40	1404	5	8
13	23·44	+0·39	**0·20**	11·70	702	10	8
14	23·54	+0·40	**0·16**	23·40	1404	10	8
15	23·63	+0·40	**0·18**	11·70	702	10	8
16	23·72	+0·33	**0·14**	23·40	1404	10	8
17	23·77	+0·44	**0·17**	11·70	702	10	8
18	23·83	+0·49	**0·14**	23·40	1404	10	8
19	23·87	+0·50	**0·17**	11·70	702	10	8
20	23·92	+0·53	**0·12**	23·40	1404	10	8
21	23·94	+0·56	**0·16**	11·70	702	10	8
22	23·95	+0·56	**0·14**	23·40	1404	10	8
23	24·04	+0·68	**0·13**	11·70	702	5	8
24	23·50	+0·46	**0·24**	11·70	702	66	8

Der gesammte während der Reizung erzielte Zuwachs der Muskeltemperatur belief sich auf 4·8° C. Der Zuwachs der Muskeltemperatur, nachdem letztere die der Kastenluft überwog, betrug 3·35° C. Mit der abso-

luten Zunahme der Temperatur im Muskel wächst auch die der Kastenluft und es nimmt in den Ruhezeiten die Muskeltemperatur ab, sodass sie am Ende einer Reizgruppe höher als im Beginn der folgenden stand.

Ueberzeugender als es hier geschehen, konnte der Versuch nicht ausfallen. Unter den getroffenen Veranstaltungen kann demnach die Kröte zu den Beobachtungen mit Aufspeicherung der Zuckungswärme gleich dem Säugethier und zur Darstellung aller der Erscheinungen benutzt werden, welche bei der Reizung des Muskelnerven hervortreten. Nur zu einer Wiederholung der Bemerkungen würde es führen, die bei Gelegenheit der Versuche am Säugethiermuskel vorgebracht wurden, wollte ich in eine Zergliederung der vorstehenden Zahlen eintreten.

Hinter dem des Hundes steht der Muskel der Kröte nicht zurück. Kurze Ruhezeiten erfrischen ihn bedeutend, und den verschiedenen Reizfolgen gegenüber erweist er sich ebenso widerstandsfähig.

Vervollständigt wird die Uebereinstimmung durch die Regel, nach welcher die Temperatur in den einzelnen Theilen einer Gruppe abfällt. Auf gleiche Weise wie früher wurde, wenn eine Gruppe aus einigen Hundert Zuckungsreizen bestand, nach je 100 derselben, und wenn sie sich aus tetanisirenden, 60 Secunden dauernden zusammensetzte, nach je 15 Secunden das Thermometer abgelesen. Die Beobachtungen hat Kröte 2 geliefert.

Zuckungsgruppe 1300 Einzelreize.	Tetanusgruppe aus 1052 Einzelreizen. In je 15 Secunden = 263 Einzelreize
Gruppentheil a Zuwachs d. Temp. 0·19	0 bis 15 Sec. Zuwachs d. Temp. 0·19
Gruppentheil b Zuwachs d. Temp. 0·12	16 bis 30 Sec. Zuwachs d. Temp. 0·05
Gruppentheil c Zuwachs d. Temp. 0·07	31 bis 45 Sec. Zuwachs d. Temp. 0·02
	46 bie 60 Sec. Zuwachs d. Temp. 0·00

3. Weit weniger leistungsfähig und minder bequem als die Kröte hat sich mir der Frosch erwiesen. Bis die Temperatur seiner Muskeln sich derjenigen genähert hat, welche der Luft in der feuchten Kammer eignet, vergeht schon eine längere Zeit. Die Kraft und die Ausdauer der Wärmebildung, welche der dann hinzutretende Reiz nachweist, befriedigen meist nur geringe Ansprüche.

Wenn die Frösche, nachdem sie eingefangen waren, entweder sogleich oder erst nach mehrtägiger ausgiebiger Fütterung in den Versuch eintraten, so bestätigten sich an ihnen die Angaben von Matteucci, Helmholtz u. A. Durch eine anhaltende Fortsetzung Zuckung gebender Reize wächst die Temperatur des Muskels um 0·5° C und mehr, aber damit hat es auch

sein Bewenden. Eine Wiederholung der Reizung brachte nur geringen Erfolg, auch dann, wenn zwischen dem Ende einer ersten und dem Beginn einer zweiten Gruppe eine langdauernde Ruhezeit eingeschlossen war. — Nach meinen Beobachtungen erholt sich der ruhende und von Blut durchströmte Muskel des Frosches stets nur äusserst langsam, wenn er durch eine andauernde Reizung gezwungen gewesen, sich um mehr als 0·3° C zu erwärmen. Als Belege können die folgenden Beispiele dienen.

Grosser Frosch.

	Temperatur des Muskels vor Beginn der Gruppe	± der Muskeltemperatur zu der der Kastenluft	Zuwachs der Temperatur während der Reizung	Zahl der Reize in 1 Secunde	Summe der Reize	Ruhezeit vor der Gruppe	Rollenabstand
1	20·51° C.	—0·69° C.	0·60° C.	2·4	420		9 cm
2	21·27	—0·01	0·15	2·4	420	5 Min.	9
3	21·42	+0·03	0·06	2·4	420	5	9
4	21·52	+0·06	0·08	2·4	420	15	9
5	21·63	+0·03	0·05	23·1	4159	15	9
6	21·78	+0·32	0·04	2·4	420	77	9

Mittelgrosser Frosch

1	22·14° C.	—0·28° C.	0·50° C.	1·7	300		10 cm
2	22·66	+0·11	0·01	1·7	300	5 Min.	10
3	22·67	—0·14	0·00	1·7	200	10	6

Frosch, während fünf Tagen mit Fleisch gefüttert

1	21·77° C.	—0·16° C.	0·38° C.	2·3	300		9 cm
2	22·14	+0·01	0·00	2·3	300	10 Min.	9
3	22·18	—0·03	0·02	2·3	300	20	7

Mit gleichbleibendem Erfolg verträgt der Muskel des Frosches eine häufigere Wiederholung der Gruppen, wenn die von einer derselben bedingte Erhöhung der Temperatur nicht über 0·1° C hinausgeht. Die Ergebnisse derartiger Versuche sind jedoch wenig vertrauenswürdig, schon wegen des stärkeren Gewichtes der Lesefehler.

Uebrigens zeigen auch die Beobachtungen, welche sich aus kurzdauernden Gruppen zusammensetzen, dass der Muskel des Frosches in jeder Beziehung hinter dem der Kröte zurücksteht. Geringer ist sein Vorrath an wärmegebenden Stoffen und seine Befähigung, den Verlust zu ersetzen. Vereinigt man alle die Werthe, um welche die Temperatur in je einer Gruppe emporging, zu einer Summe, so gelangt man wiederum nur zu 0·6° C. — Ein Beispiel findet sich im Anhang XVIII.

III.

Das Verhältniss der freien zur Arbeitswärme.

In wieweit meine Beobachtungen zur Durchführung des angedeuteten Vergleichs genügen, wird zunächst der Erörterung unterliegen müssen. — Weil das Gewicht und die Temperatur des erregten Muskels bekannt waren, so hätte sich, wäre die Wärmecapacität des Muskelstoffs von unveränderlichem Werthe, auch die Menge der Wärme genau angeben lassen, welche in der Erregung entbunden wurde. Wegen der veränderlichen Zusammensetzung des Muskels aus Wasser, Eiweissstoffen, Fett u. s. w. wird seine Befähigung, Wärme zu fassen, von Fall zu Fall wechseln, und in der That ist die Wärmecapacität des Muskels von Adamkiewicz zu 77, von I. Rosenthal zu 82 Procent der des Wassers gefunden worden. Bei der Unmöglichkeit, jede meiner Beobachtungen auch noch mit einer Bestimmung der Wärmecapacität zu belasten, musste ich mich statt der wahren einer nur wahrscheinlichen Zahl bedienen, wenn ich die Menge der Erregungswärme ausrechnen wollte. Hierzu schien mir statt eines der beiden obengenannten Grenzwerthe ein mittlerer von 80 geeignet, dessen ich mich mit dem steten Bewusstsein bedient habe, dass alle aus der Rechnung fliessenden Folgerungen sich der Wahrheit nur annähern. Schätzungen wie diese erheben keinen Anspruch auf Endgiltigkeit, wohl aber dienen sie künftigen Untersuchungen als Wegweiser.

Nach den gegenwärtigen Vorstellungen ist der Zuschuss an Wärme, welcher sich in den erregten Muskeln aufspeichert, zweierlei Ursprungs. Ein Theil der Kräfte, welche die Erregung in Freiheit setzte, ist unmittelbar als Wärme erschienen, ein anderer aber erst dann dazu geworden, wenn der Muskel durch das Gewicht, was er vorher gehoben, wieder zu der vor der Verkürzung innegehabten Länge zurückgeführt ist. In meinem Fall ist die Menge des letzteren, ursprünglich zur Arbeit verwendeten Antheils bekannt, weil die Summe der Zuckungen, die zu einer Gruppe gehören, die Grösse des angehängten Gewichts und die Höhen der Hübe genau bestimmt sind.

Die Antheile der erregten Energie, welche der Arbeit, und die, welche der Wärme zugewiesen wurden, lassen sich, nachdem sie in gleichnamigen Maasse ausgedrückt sind, gegen einander abwägen. Nun erhebt sich die Frage, unter welchen Bedingungen sich das Anstellen des Vergleichs lohne. Wir wissen, dass bei einem gegebenen Zustand des Muskels der Umfang, in welchem sein erregbarer Stoff zerlegt wird, ganz überwiegend von der Stärke des Reizes abhängt, andererseits aber durch die Untersuchungen von Ed. Weber, Ad. Fick, J. v. Kries u. A., dass die Arbeit, welche

geleistet wird, von rein äusserlichen Umständen bedingt ist. Für die letztere ist das Gewicht der Last, ob es gehoben, geworfen oder in Schwingung versetzt wird, von einschneidender Bedeutung, und nicht minder, ob die Belastung in dem Verlaufe der Zuckung gleich bleibt, oder sich ändert. Zu einer Abwägung des Antheils, welchen die entbundene Energie der Arbeit zuwenden kann, wäre erst dann zu gelangen, wenn wir in den Vergleich die grösste Ausbeute an Arbeit einzusetzen vermöchten, welche jeweilig aus dem Muskel zu gewinnen ist.

So gründlich lässt sich die Aufgabe gegenwärtig nicht lösen. Einstweilen wird man in Versuchen, ähnlich den meinen, auf die Behandlung besonderer Fälle beschränkt sein, in der Erwartung, über die Richtung Aufschluss zu erhalten, nach welcher sich die Energie zwischen Wärme und Arbeit theilt, wenn die Stärke des Reizes, das Gewicht der Last, die Grade der Ermüdung sich ändern. Von diesem Gesichtspunkt aus, wollen die von mir angestellten Vergleiche betrachtet sein.

Noch ist zu bemerken, dass ich in den Vergleichen die Arbeitswärme gegenübergestellt habe der gesammten vom Muskel schliesslich beherbergten Wärme, statt richtiger dem Reste derselben, welcher nach Abzug der Arbeitswärme verbleibt. Nicht aus Bequemlichkeit habe ich die Rechnung unterlassen, vielmehr darum, weil der Fehler, welcher aus der ungenügenden Kenntniss der Wärmecapacität des Muskels fliesst, durch die Einführung der kleinen Verbesserung nicht gehoben worden wäre.

1. Gleicher Reiz bei ungleicher Belastung. Von der Stärke des Reizes wird anerkanntermaassen der Umsatz im Inneren des Muskels in ähnlicher Weise beeinflusst wie der Umfang der freien Zuckung oder wie der Spannungsgrad einer isometrisch ablaufenden. Der Betrag an Arbeit dagegen, welchen der Muskel bei unveränderlicher Stärke des Reizes ausgiebt, steht in Abhängigkeit von der ihm anvertrauten Last. Aus den beiden Vordersätzen folgt, dass das Verhältniss von Gesammt- zur Arbeitswärme bei unveränderlichem Reize und wechselnder Belastung durch ein Minimum wandern müsse, welches auf den Ort der grössten Arbeit fällt. Für die Giltigkeit des abgeleiteten Satzes, auf welchen schon Ad. Fick hingewiesen, sprechen aus meinen Beobachtungen u. A. die folgenden Zahlen.

Wollte man, was ich unterlassen, der Frage durch ausgedehntere Versuchsreihen näher treten, so dürfte sich der Gebrauch kurzdauernder Gruppen und langer Ruhezeiten empfehlen. Doch deuten die vorgelegten Zahlen darauf hin, dass für das Verhältniss zwischen Arbeits- und Gesammtwärme bei gleichem Reiz und ungleicher Belastung auch in höheren Graden der Ermüdung ähnliche Regeln wie bei niederen gelten.

I. Muskelgewicht 256 ^{grm}, der Wärmefassung entsprechend von 204.8 ^{grm}. Reizungszahl der Gruppe 100. Rollenabstand 0 ^{cm}.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge in Calorien	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Belastung des Muskels in Grm.
19	0·920	2·18	32·8	15	456
20	1·525	3·61	34·8	10	1215
21	1·567	3·71	35·7	10	1728
22	0·589	1·39	36·9	26	2400
23	0·888	2·10	32·8	16	1728
24	1·003	2·37	30·7	13	1215
25	0·762	1·80	28·7	16	456

II. Muskelgewicht 331 ^{grm} der Wärmefassung nach = 264·8 ^{grm}. Reizungszahl der Gruppe 600. Rollenabstand 6·2 ^{cm}.

1	3·240	7·67	153·6	20	900
2	1·825	4·32	113·9	26	1350
3	1·209	2·86	84·7	30	2020
4	1·224	2·89	79·4	27	1350
5	1·296	3·06	76·4	25	900

Reizungszahl der Gruppe 100. Rollenabstand 0 ^{cm}.

13	0·049	0·12	13·2	110	344
14	0·217	0·51	13·2	26	2020
15	0·051	0·12	13·2	110	344
16	0·429	1·02	18·5	18	2020
17	0·167	0·40	23·8	60	344
18	0·328	0·78	18·5	24	2020

2. Gleiche Belastung, ungleich starker Reiz. Aus der Erfahrung, dass zwei schwache Reize weniger Wärme auslösen als ein starker und dass dessen ungeachtet die Summe der beiden Hübe des schwächer erregten Muskels grösser werden kann, als der einzige des kräftiger zuckenden, wollte man schliessen, dass der Muskel durchweg im ersteren Falle sparsamer als im letzteren arbeite; mit anderen Worten der Quotient aus der Arbeits- in die Gesammtwärme falle bei schwachem Reize kleiner als bei starkem aus. — Unter gewissen, keineswegs aber unter allen Umständen wird der Satz seine Giltigkeit haben. Zog sich der schwächer gereizte Muskel unter einem Gewicht zusammen, mit welchem er das Maximum der Arbeit bewirkt, der stark gereizte dagegen unter einem solchen, mit welchem die geförderte Arbeit nur ein geringer Bruchtheil der möglichst

grossen wird, so zuckt der erstere sparsamer als der letztere, bei einer Umkehr der aufgestellten Bedingungen kann und wird das Gegentheil eintreten. Unter meinen Aufzeichnungen finden sich beiderlei Vorkommnisse.

In dem ersteren der folgenden Beispiele arbeitete der ungleich stark gereizte Muskel stets mit einer geringen Belastung; mit der grösseren Sparsamkeit zuckte er, wenn er weniger stark gereizt gewesen. In dem zweiten musste stets ein grösseres Gewicht gehoben werden und nun bedingte die stärkere Reizung einen geringeren relativen Aufwand.

Muskelgewicht 155 grm mit einer Wärmefassung = 124 grm. Reizungszahl der Gruppe 125. Belastung 200 grm.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammt-Wärmemenge in Calorien	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Rollenabstand
2	0·048	0·11	6·2	56	10
3	0·047	0·11	9·9	90	8
4	0·074	0·17	14·9	88	6
5	0·100	0·24	29·8	124	4
6	0·102	0·24	26·0	104	0
7	0·078	0·19	19·8	104	3
8	0·084	0·20	21·1	106	5
9	0·065	0·15	12·4	83	7
10	0·054	0·13	8·7	67	9
11	0·037	0·09	6·2	70	11

Muskelgewicht 182 grm, der Wärmefassung gemäss = 145·6 grm. Belastung 890 grm. Reizungszahl der Gruppe 90.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammt-Wärmemenge in Calorien	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Rollenabstand
1	0·342	0·81	45·1	56	11
2	0·538	1·28	53·9	42	6
4	0·428	1·01	37·9	37	6
5	0·262	0·62	26·2	42	12
6	0·579	1·37	48·1	35	0
7	0·233	0·55	26·2	48	12
8	0·518	1·23	45·1	37	0
9	0·119	0·28	18·9	67	12
10	0·509	1·21	40·8	34	0
14	0·273	0·65	13·1	20	0
15	0·087	0·21	11·7	56	8
16	0·261	0·62	16·0	26	0
17	0·070	0·17	10·2	60	8
18	0·242	0·57	14·6	20	0
20	0·224	0·53	16·0	30	0
21	0·113	0·27	10·2	38	6
22	0·214	0·51	14·6	29	0

Weitere Belege siehe im Anhang XIX. XX.

Auch bei Gelegenheit einer anderen Versuchsreihe bestätigte sich, dass die Arbeit bei schwacher Reizung keineswegs sparsamer sein müsse, als bei starker. — In ihr wurde abwechselnd der Muskel leichter und schwerer belastet und jedesmal entsprechend dem geringeren Gewicht auch schwächer und dem grösseren gemäss stärker gereizt. Beidemale wurde die Reizung so oft wiederholt, bis die Säule des Thermometers um einen im Voraus bestimmten Grad gestiegen war. Um einen gleichen Zuwachs der Temperatur zu erzielen, bedurfte es für jede Art der Reizung einer ungleichen Zahl von Zuckungen, und da neben ihr die Wärmemenge und die Arbeit bekannt waren, welche eine Gruppe geliefert hatten, so liess sich die mittlere Leistung einer Zuckung finden. Um den daran schon überreichen Text nicht mit noch weiteren Zahlen zu füllen, habe ich die Belege in den Anhang verwiesen. Beim Nachschlagen der betreffenden Seiten ist zu sehen, dass im Versuch XXI. XXII. XXIII der stärker gereizte und belastete am sparsamsten gearbeitet hatte.

Unzweifelhaft dienen die Ergebnisse solcher Versuche unserer Einsicht in den Zuckungsvorgang; zur Anwendung auf die natürlichen Verhältnisse, in welchen der Muskel von den nervösen Mittelpunkten aus erregt wird, dürften sie sich nicht eignen. Allmählich und unter der Aufsicht von Empfindungen zieht sich der willkürlich gereizte Muskel zusammen, sodass sich die Stärke der Erregung der Grösse der verlangten Leistung anpassen kann und in sanfter Bewegung kehrt er zu seiner Ruhelage zurück. Im künstlich hervorgerufenen Vorgang schnellt der Muskel plötzlich empor und stürmisch zerrt ihn das fallende Gewicht aus dem erreichten Verkürzungsgrad heraus. Den milderen und sorgsameren Mitteln des natürlichen Vorgangs wird es voraussichtlich gelingen, in jedem besonderen Fall die sparsamste Art der Arbeit in Anwendung zu ziehen.

3. Die Aenderung des Arbeitsantheils der Energie mit der Wiederholung des Wechsels von Ruhe- und Reizungszeiten. Die wärmebildende Kraft, welche der blutleere Muskel während der Erregung einbüsste, ward ihm öfter in der Ruhezeit vollkommen wiedererstattet. Man durfte erwarten, dass in gleichem Maasse auch die Befähigung zur Arbeit hergestellt sei. Doch nur zuweilen bestätig tder Versuch die Voraussetzung, in seiner überwiegenden Mehrzahl widerspricht er ihr. Aus einem früheren Abschnitt dieser Abhandlung S. 135 ist ersichtlich, dass die Wärmeerholung in den aneinander gereihten zwischen je zwei Reizungsgruppen eingeschalteten Ruhezeiten sich ungleich verhält. Nach dem Ablauf der beiden ersten Ruhezeiten pflegt eine Reihe derselben zu folgen, welche die wärmegebenden Kräfte auf die gleiche Stufe zu heben vermögen, und im allmählichen

Uebergang schlossen sich an diese andere an, in welchen es der Ruhezeit weniger und weniger gelang, die bestehende Erschöpfung zu tilgen. In der Abtheilung der Gruppen, in welchen gleiche Art und Dauer der Reizung vorausgesetzt, die Menge der gebildeten Wärme nahezu gleich blieb, nahm nun in der Regel die Arbeit mehr und mehr ab, sodass der Quotient aus den Calorien der Arbeit in die Gesammtsumme der entstandenen von Gruppe zu Gruppe wuchs, doch nicht immer bis zum Ende des Versuchs. Oefter wenn der Muskel soweit erschöpft war, dass ihm Ruhe und Blut nicht wieder zur alten Wärmeleistung verhalfen, gelangte der Antheil, welcher von der entbundenen Energie auf die Arbeit gespendet wurde, zu einem Wendepunkt. Der Bruchtheil der gesammten Menge der Wärme, welcher keine Verwendung zur Arbeit fand, nahm nun bis zum vollen Verschwinden hin ab, sodass schliesslich ohne jeglichen Rest die durch den Reiz ausgelösten Kräfte in die Arbeit aufgingen.

Unter meinen zahlreichen Versuchen findet sich kein zweiter, welcher in gleicher Vollständigkeit, wie der nachfolgende, durchgeführt wäre. — Stücke des durch ihn dargelegten Ablaufs stehen im Anhang XXIV bis XXVII.

Muskelgewicht 326 grm mit einer Wärmefassung = 260·8. Belastung 570 grm. Reizungszahl in 1 Gruppe 200.

Nr. der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Ruhezeit voraus in Min.	Rollenabstand
1	2·339	5·53	96·5	17		
2	1·432	3·39	67·8	20	5	11 cm
3	1·408	3·33	83·5	25	10	11 cm
4	0·903	2·14	60·0	28	5	11 cm
5	1·037	2·45	65·2	27	10	11 cm
6	0·824	1·95	54·8	28	5	11 cm
7	1·041	2·46	67·8	28	10	11 cm
8	1·133	2·68	36·5	14	20	11 cm
9	0·259	0·61	0	0	5	11 cm
10	0·632	1·49	9·1	6	10	anfangs 11, dann 6 cm
11	0·811	1·92	88·1	46	5	6 cm
12	0·776	1·83	93·9	51	10	6 cm
13	0·557	1·32	78·2	59	5	6 cm
14	0·536	1·27	83·5	66	10	6 cm
15	0·367	0·87	80·9	93	5	6 cm
18 [1]	0·192	0·45	70·4	156	25	6 cm
19	0·048	0·11	15·7	143	5	6 cm
20	0·009	0·02	0	0	10	6 cm

[1] In Gruppe 16 und 17 war der Verschluss der Aorta unvollkommen.

Der Versuch besteht aus drei Abtheilungen, nur die Gruppen, welche einer derselben angehören, sind unter einander vergleichbar. —

Im ersten Theil wird gereizt mit einem Rollenabstand von 11 cm. Von der 3. bis zur 7. Gruppe bleibt das Verhältniss der Arbeits- zur Gesammtwärme annähernd dasselbe, zugleich auch die ausgelöste Menge der letzteren beträchtlich. In der 8. Gruppe fällt die Wärme, welche der schwache Reiz zu entbinden vermag, rasch ab und nun beträgt sie nicht mehr wie vorher das 20 bis 25fache, sondern nur das 14fache der Arbeitswärme. In der 9. Gruppe, welche gleich den vorigen, 166 Secunden umspannte, giebt der Muskel keine Wärme, dagegen hebt er noch 200 Mal die 570 grm. schwere Last.

In der zweiten nur aus einer Gruppe bestehenden Abtheilung geschieht die Reizung anfangs noch mit einem Rollenabstand von 11 cm und da hierbei das Thermometer sich nicht regt, so wird die secundäre Spirale der primären um weitere 5 cm genähert; alsbald hebt sich die Säule des Thermometers zum Zeichen dafür, dass dem erregten Muskel die Fähigkeit zur Lieferung von Wärme nur dem schwachen Reiz gegenüber abging.

In dem dritten Abschnitt des Versuchs, in welchem durchweg mit dem Rollenabstand von 6 cm gereizt wurde, nahm die Wärmebildung einen beträchtlichen Aufschwung und hielt sich durch eine ganze Reihe von Gruppen auf gleichem Bestand, indess die Grösse der Arbeit schon fortschreitend absank. Erst in der 19. Gruppe zeigt die Wärme der früheren gegenüber einen bedeutenderen Abfall als die Arbeit und in der 20. Gruppe endlich hat sich die Wärmebildung erschöpft, während der Muskel noch in einer allerdings sehr mässigen Arbeit begriffen ist. Damit ist der Muskel für den stärkeren Reiz in dieselbe Beschaffenheit wie früher für den schwächeren eingetreten.

Dass der Muskel wärmelose Zuckungen geliefert habe, könnte man bestreiten und die Ursache ihres Auftretens in der Unbeholfenheit des Thermometers finden. Ohne jegliche Erwärmung des Muskels kann allerdings eine Gruppe von 200 Zuckungen nicht verlaufen sein, weil die in ihr geförderte Arbeit nicht nach aussen hin übertragen ward. Doch wenn man die der vollführten Arbeit gleichwerthigen Calorien durch das auf seine Wärmecapacität zurückgeführte Muskelgewicht dividirt, so gelangt man zu einer nach Tausendel eines Grades bemessenen Temperatur, für deren Messung das Thermometer nicht mehr hinreicht.

Der reiche und gewichtige Inhalt der vorstehenden und der mit ihm gleichlautenden Versuche lässt sich anschaulich zusammenfassen durch die Vorstellung, dass die Masse des Muskels, welche dem Reize zur Verfügung steht, aus zwei Arten von Stoffen, einem wärme- und einem arbeitgebenden gemischt ist. An Zersetzbarkeit durch den Reiz und an Wiederherstellbar-

keit durch die Ruhe und das Blut, verhalten sich beide ungleich. In dem frischen Muskel, in welchem die beiden Antheile des Gemenges reichlich vertreten sind, werden beide den Angriffen der Reize leicht zugängig, schreitet die Erschöpfung fort, so werden die der Arbeit dienlichen Stoffe in geringerem Grade reizbar und weniger erholungsfähig als die wärmegebenden; nach einer häufigen Wiederkehr des Wechsels von Erregung und kürzeren Erholungszeiten verliert der Wärmestoff sein Uebergewicht, sodass nun seine Befähigung dem Reize einen Angriffspunkt zu bieten und sich in Berührung mit dem Blute zu erneuen, hinter die des arbeitgebenden zurücktritt.

Der Ausdruck, unter welchem die Thatsachen zusammengefasst sind, wird, wenn nicht gestützt, so doch seines fremdartigen Aussehens entkleidet durch die Erfahrungen, welche Rubner[1] und von Frey[2] bei der Untersuchung der Muskelathmung gewannen. Aus dem Verhältniss der entbundenen und befestigten Gase ergab sich beidemale die Annahme als nothwendig, dass verschiedene Arten chemischer Vorgänge gleichzeitig und abwechselnd in dem Muskel geschehen.

4. Vergleichung von Arbeits- und Wärme-Ermüdung bei fortlaufender Reizung des blutleeren Muskels. Dass und wie der Fortschritt der Wärmemüdigkeit in einer Gruppe zu ermitteln sei, wurde in einem früheren Abschnitte, S. 139, mitgetheilt: gleiches lässt sich leicht für die Ermüdung der Arbeit ausführen. Die Ergebnisse der Vergleichung beider Abläufe sind dem Sicherheitsgrade der Unterlagen entsprechend von ungleichem Werth.

Keinem in seiner Feststellung begründeten Einwand unterworfen, dürfte das Vorkommen wärmeloser Arbeit sein. Am ausgeschnittenen Froschmuskel ist sie schon früher von Heidenhain, Ad. Fick und Blix beobachtet worden. Bei einer Reizung des Säugethiermuskels, die ohne eine Unterbrechung durch Ruhezeiten fortschreitet, tritt sie sehr ausgeprägt hervor. Da unter günstigen Bedingungen Zuckungen in mehr hundertfacher Zahl nach einander erscheinen, ohne dass im Thermometer die geringste Bewegung sichtbar wird, so liegt hierin der Beweis, dass die freie Wärme, von der die Zuckungen etwa noch begleitet werden, verschwindend kleinen Betrages sein müsse.

Wärmefreie Zuckungen lassen sich in der Regel dadurch erzeugen, dass die taktmässige Reizung bis zur Ermüdung hin fortgesetzt wird. Gegen das Ende einer solchen Gruppe bringen 100 und mehr Reize keine Erwärmung, dagegen noch Arbeit zu Stande. Je nach dem Erschöpfungsgrad,

[1] *Dies Archiv*. 1885. S. 39.
[2] *Ebenda*. S. 533.



mit welchem der Muskel in die Gruppe eintrat, muss die Zahl der zum Ziele nöthigen Reize verschieden gross genommen werden.

Von den drei Gruppen des nachstehenden Beispiels ist namentlich die dritte zu beachten. Während ihrer Ausführung wurde in den Theilen *e* und *f* der Reiz verstärkt, die Arbeit wuchs, aber ein Ansteigen des Thermometers machte sich nicht bemerklich.

Muskelgewicht 258 ^{grm}, auf Wärmefassung berechnet 206·4 ^{grm}. Belastung 300 ^{grm}. Reizungszahl des Gruppentheiles 100. Dauer einer solchen 110 Secunden.

Rollenabstand 5 ^{cm}

Gruppe und Gruppentheil 3	a	b	c	d	e	f	g	h
Arbeit in Calorien . . .	0·87	0·58	0·34	0·21	0·24	0·28	0·23	0·11
Gesammte Wärmemenge .	53·7	43·3	28·9	16·5	6·2	4·1	0·0	0·0

Gruppe und Gruppentheil 4	a	b	c	d	e	Rollenabst. 5 ^{cm}
Arbeit in Calorien . . .	0·49	0·38	0·29	0·16	0·06	
Gesammte Wärmemenge .	6·2	10·3	7·2	7·2	0·0	

Gruppe und Gruppentheil 6	a	b	c	d	e	f
Rollenabstand	5	5	5	3	0	0 ^{cm}
Arbeit in Calorien . . .	0·48	0·38	0·20	0·09	0·13	0·15
Gesammte Wärmemenge .	28·9	31·0	12·4	10·3	0·0	0·0

Die Resultate anderer Versuche stehen im Anhang unter XXVIII bis XXXI.

Durchweg sind die Arbeiten der wärmelosen Zuckungen gering im Vergleich zu den im Anfang einer Gruppe bei gleicher Stärke des Reizes erbrachten, doch nicht geringer als die am frischen Muskel unter schwächstem Reize ausgelösten, welche stets mit freier Wärme auftreten.

Oefter werden die wärmefreien Zuckungen als die sparsamsten bezeichnet, doch sind sie auch die kraftlosesten dem starken Reize zum Trotz, welchem sie ihr Entstehen schulden. Und da wir niemals eine kraftvolle Zuckung anders, als mit Wärmeentwickelung verbunden sehen, so dürfen wir auch annehmen, dass unter die nothwendigen Bedingungen ihres Entstehens die weniger sparsame Zersetzung zähle.

Mit der Erörterung, wie sich das Ende einer Gruppe verhält, darf der Vergleich zwischen Arbeits- und Wärmeermüdung nicht abgeschlossen sein. Aus dem Verhalten der übrigen Abschnitte, namentlich dadurch, ob die beiden Ermüdungen der Art von einander abhängen, dass der Verlauf der einen auch den der anderen bestimmt, oder ob innerhalb eines jeden Gruppentheiles die eine der anderen bald voraneilen, bald nachfolgen kann, wird

die stoffliche Bewegung beleuchtet, welche der Erschöpfung durch den Reiz und der Erholung in der Trennungszeit je zweier Reize zu Grunde liegen.

Zur Lösung der ebengestellten Aufgabe gehört selbstverständlich die genaueste Bekanntschaft des Gesetzes, nach welchem mit der wachsenden Zahl der Reize die Wärmeerzeugung absinkt. Ob zur Ableitung eines derartigen Gesetzes meine Beobachtungen genügen? Die Gründe, aus welchen sie mir unzulänglich erscheinen, habe ich schon früher erwähnt und nun gewinnen sie an Triftigkeit durch den Vergleich zwischen der Abnahme von Arbeit und freier Wärme; die Versuche an verschiedenen und die einzelnen Gruppen an denselben Muskeln stimmen so wenig zu einander, dass, wollte man ihre Aussagen für gleichwerthig halten, verschiedene Arten der Abhängigkeit zwischen Arbeits- und Wärmeermüdung bestehen müssten.

Der Ablauf der Ermüdung jedes der beiden Leistungen ist statt einer bildlichen Darstellung durch Proportionalzahlen ersichtlich gemacht; der im ersten Abschnitt der Gruppe vorhandene Werth ist gleich 1 gesetzt.

Schon aus zwei Beispielen wird die Unregelmässigkeit, auf die man hier stösst, einleuchten.

In den ersten der folgenden Beispiele ist ein häufiges Vorkommen dargelegt. In den drei Reizungsgruppen a, b, c sind Arbeit und Wärme um einen gleichen Bruchtheil der zu ihnen gehörigen Anfangswerthe gesunken, von der 4. Gruppe an bleibt die proportionale Abnahme der Arbeit beträchtlich hinter der entsprechenden der Gesammtwärme zurück.

Gruppentheile	a	b	c	d	e	f
Arbeit in Calorien . .	1.99	1·43	0·97	0·76	0·59	0·46
Verhältnisszahlen . . .	1·00	0·72	0·49	0·38	0.30	0·23
Gesammte Wärmemenge	79·7	59·0	38·4	23·6	8·9	5·9
Verhältnisszahlen . . .	1·00	0·74	0·48	0·30	0·11	0·07

Im zweiten Beispiele sinkt anfangs der proportionale Werth der Arbeit rascher als derjenige der Wärme, dann aber kehrt sich plötzlich das Verhältniss um; von dem dritten Gruppentheil an eilt das Sinken der Wärme dem der Arbeit bedeutend voran.

Gruppentheile	a	b	c	d	e	f
Arbeit in Calorien . .	1·02	0·67	0·41	0·62	0·46	0·22
Verhältnisszahlen . . .	1·00	0·66	0·40	0·61	0·45	0·22
Gesammte Wärmemenge	61·9	49·5	35·1	18·6	7·2	5·2
Verhältnisszahlen . . .	1·00	0·80	0·57	0·30	0·12	0·08

Dass die Angaben über die Verhältnisse der Ermüdung in den vorgelegten und zahlreichen anderen Beobachtungen von einander abweichen, kann in dem wirklichen Vorkommen begründet sein, aber ebensogut ist es aus den Mängeln der Methode zu erklären.

Der mannigfachen Verbesserungen, welche mein Verfahrens bedarf und der zahlreichen Lücken, welche meiner Untersuchung trotz ihrer Ausdehnung anhaften, bin ich mir vollkommen bewusst. Ist meine Arbeit auch nicht als abschliessend zu betrachten, so hoffe ich doch von ihr anregende Wirkungen.

Anhang.

I.

Muskelgewicht 305 grm. Belastung 487 grm. Ruhezeit anfangs 5 und später 10 Minuten. Reizfolge 0·5 Sec.

Nummer der Gruppen	Zahl der Zuckungen	Temperatur am Beginn einer Gruppe	Temperatur-zuwachs einer Gruppe	Temperatur-zuwachs einer Zuckung	
1	219	41·40° C.	0·44° C.	0·0020	Ruhezeit 5 Min. Rollenabst. 0
2	201	41·34 „	0·46 „	0·0023	
3	200	41·38 „	0·34 „	—	
4	200	41·27 „	0·34 „	0·0017	
5	201	41·17 „	0·35 „	—	
6	200	41·16 „	0·34 „	—	
7	201	41·18 „	0·32 „	—	
8	200	41·22 „	0·38 „	0·0019	
9	200	41·30 „	0·33 „	0·0017	
10	200	41·35 „	0·35 „	—	
11	201	41·57 „	0·40 „	0·0020	Ruhezeit 10 Min.
12	201	41·80 „	0·37 „	—	
13	201	41·90 „	0·30 „	—	
14	200	41.90 „	0·30 „	0·0015	
15	201	41·99 „	0·27 „	—	
16	199	42·10 „	0·22 „	0·0011	

II.

Muskelgewicht 218 grm. Belastung 679 grm. Ruhezeit 5 Minuten. Reizfolge 0·43.

Nummer der Gruppen	Zahl der Zuckungen	Temperatur vor Beginn der Gruppen	Temperatur-zuwachs der Gruppe	Temperatur-zuwachs für 1 Zuckung	
8	145	39·68° C.	0·23° C.	0·0016	Rollenabst. 0 cm
9	145	39·73 „	0·21 „	0·0014	
10	144	39·70 „	0·20 „	—	
11	145	39·75 „	0·21 „	—	
12	141	39·71 „	0·22 „	—	

(II. Fortsetzung.)

Nummer der Gruppe	Zahl der Zuckungen	Temperatur vor Beginn der Gruppen	Temperaturzuwachs der Gruppe	Temperaturzuwachs für 1 Zuckung	
13	140	39·74° C.	0·20° C.	—	Rollenabst. 0 cm
14	154	39·70 „	0·23 „	0·0015	
15	140	39·77 „	0·21 „	—	
16	141	39·74 „	0·20 „	0·0014	
17	138	39·76 „	0·18 „	0·0013	
18	138	39·70 „	0·18 „	—	

Der 8. Gruppe voraus war der Nerv 7 Mal von tetanisirenden Reizen getroffen worden.

III.

Muskelgewicht 227 grm. Belastung 434 grm. Ruhezeit 15 Min. Reizfolge 1·2 Sec. Zuckungszahl des Gruppentheiles 100.

Gruppe	Temperaturzuwachs in den Gruppentheilen				Summa der Zuckungen	Summa des Temperaturzuwachses	Anfangstemperatur	Rollenabst.
	a	b	c	d				
1	0·18	0·18	0·15	0·12° C.	400	0·63° C.	38·80° C.	0 cm
2	0·14	0·18	0·15	0·16 „	400	0·63 „	38·63 „	0 „
3	0·13	0·15	0·13	0·08 „	400	0·49 „	38·94 „	0 „
5	0·21	0·17	0·13	0·07 „	400	0·58 „	39·56 „	0 „
6	0·17	0·16	0·09	0·03 „	400	0·45 „	39·86 „	0 „
7	0·09	0·03	0·01	0·00 „	400	0·13 „	40·03 „	0 „

IV.

Muskelgewicht 423 grm. Belastung 568 grm. Ruhezeit 15 Min. Wiederkehr des Reizes 1·2 Sec. Zuckungszahl des Gruppentheiles = 100.

Gruppe	Temperaturzuwachs in den Gruppentheilen						Summa der Zuckungen	Summa des Temperaturzuwachses	Anfangstemperatur	Rollenabst.
	a	b	c	d	e	f				
2	0·25	0·25	0·19	0·09	0·04	0·04° C.	600	0·86° C.	40·11° C.	2 cm
3	0·20	0·21	0·17	0·07	0·03	0·03 „	600	0·71 „	40·23 „	2 „
4	0·16	0·19	0·15	0·06	0·02	0·02 „	600	0·60 „	40·32 „	2 „
5	0·02	0·07	0·06	0·02	0·03	0·03 „	600	0·23 „	40·46 „	2 „

V.

Muskelgewicht 260 grm. Belastung 586 grm. Ruhezeit 15 Min. Wiederkehr des Reizes 1 Sec. Zuckungszahl des Gruppentheiles 200.

In Gruppe	Temperaturzuwachs in den Gruppentheilen										Summa der Zuckungen	Summa des Temperatur Zuwachses	Anfangs-Temperatur	Rollen-abstand
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k				
3*	0·21	0·14	0·09	0·04	0·03	0·01	0·00	0·00° C.			1500	0·52° C.	40·08° C.	6 cm
4*	0·25	0·15	0·09	0·03	0·01	0·03	0·01	0·04	0·00	0·01° C.	2000	0·62 „	40·41 „	4 „
5*	0·17	0·12	0·05	0·07	0·03	0·04	0·01° C.				1400	0·52 „	40·86 „	2 „
6*	0·19	0·14	0·11	0·07	0·04	0·00° C.					1200	0·55 „	41·23 „	2 „
7	0·20	0·13	0·11	0·06	0·00° C.						900	0·50 „	41·40 „	0 „
8	0·18	0·12	0·08	0·01	0·00° C.						800	0·39 „	41·60 „	0 „

In den mit einem * versehenen Gruppen war zwar der Puls in der Cruralarterie verschwunden, doch trat kein Sinken der Bluttemperatur ein, sie sind darum einer unvollständigen Absperrung der Aorta verdächtig.

VI.

Muskelgewicht 423 grm. Belastung 568 grm. Wiederkehr des Reizes 1·3 Sec. Zuckungszahl des Gruppentheils 200.

In Gruppe	Temperaturzuwachs in den Gruppentheilen						Summa der Zuckungen	Summa des Temperatur-zuwachses	Anfangs-temperatur	Rollen-abstand
	a	b	c	d	e	f				
1	0·54	0·24	0·11	0·16	0·08	0·02 u. 0·00° C.	1200	1·15° C.	40·23° C.	6 cm

VII.

Muskelgewicht 292 grm. Belastung 902 grm. Ruhezeit 35 Min. Wiederkehr des Reizes 0·4 Sec. Zuckungszahl des Gruppentheiles 200.

In Gruppe	Temperaturzuwachs in den Gruppentheilen						Summe der Zuckungen	Summe des Temperaturzuwachses	Anfangstemperatur	Rollenabstand
	a	b	c	d	e	f				
4	0·20	0·18	0·14	0·12	0·13	0·06° C.	1200	0·83° C.	38·40° C.	von a bis d 14 cm von d bis f 0 cm

VIII a.

Muskelgewicht 369 grm. Belastung 770 grm. Ruhezeit 15 Min. Reizfolge 1·1 Sec. Zuckungszahl eines Gruppentheiles 100.

In Gruppe	Zuwachs der Temperatur in den Gruppentheilen						Summe der Zuckungen	Summe des Temperaturzuwachses	Anfangs-Temperatur	Rollenabstand
	a	b	c	d	e	f				
1	0·35	0·28	0·23	0·09° C.			400	0·95° C.	40·12° C.	7 cm
2	0·28	0·24	0·16	0·08° C.			400	0·76 „	40·46 „	7 „
3	0·26	0·19	0·17	0·09° C.			400	0·71 „	41·05 „	7 „
4	0·27	0·20	0·13	0·08	0·03	0·02° C.	600	0·73 „	41·62 „	7 „
5	0·22	0·18	0·04° C.				300	0·44 „	42·00 „	7 „
6	0·24	0·12	0·09	0·08	0·07	0·03° C.	600	0·63 „	42·02 „	5 „
7	0·22	0·14	0·03	0·02	0·00° C.		500	0·41 „	41·98 „	5 „
8	0·11	0·09	0·04	0·02° C.			400	0·26 „	41·87 „	5 „
9	0·03	0·05	0·06° C.				300	0·14 „	41·89 „	0 „
10	0·09	0·05	0·05	0·04° C.			400	0·23 „	42·19 „	0 „

VIII b.

Muskelgewicht 256 grm. Ruhezeit 5 Min. Reizfolge 0·4 Secunden. Zuckungszahl des Gruppentheiles 100.

Gruppe	Temperaturzuwachs in den Gruppentheilen a	b	c	d	e	f	g	Summe der Zuckungen	Summe des Temperaturzuwachses	Anfangstemperatur	Belastung	Rollenabstand
1	0·10	0·10	0·10	0·06	0·06	0·05	0·14° C.	700	0·61° C.	38·53° C.	902 grm	für a bis f = 20 cm für g = 8·5
2	0·14	0·08	0·08	0·09	0·06	0·09° C.		600	0·54 „	38·46 „	679 „	für a bis e = 16·5 cm für f = 5·0 cm
3	0·12	0·11	0·09	0·06	0·06	0·07° C.		600	0·51 „	38·40 „	679 „	für a bis e = 13·5 cm für f = 0·0 cm
4	0·10	0·08	0·08	0·06	0·04	0·05° C.		600	0·41 „	38·38 „	679 „	für a bis e = 13·8 cm für f = 0·0 cm
5	0·08	0·07	0·06	0·06	0·04	0·08° C.		600	0·39 „	38·34 „	679 „	wie Gruppe 4

X.

Ruhezeit 5 Min. Dauer der Reizung 60 Sec. Rollenabstand 6·0 cm.

Nummer der Gruppe	Zahl der Reize	Reizfolge	Zugewachsene Temperatur	
2	702	0·086 Sec.	0·27° C.	Zuckungen theilweise verschmolzen.
3	1041	0·058 „	0·27 „	Tetanus
4	1404	0·043 „	0·24 „	Tetanus
5	1404	0·043 „	0·20 „	Tetanus
6	1041	0·058 „	0·22 „	Tetanus
7	702	0·086 „	0·27 „	Zuckungen theilweise verschmolzen.
8	342	0·175 „	0·28 „	Zuckungen.

IX.

A. Muskelgewicht 262 grm. Belastung 887 grm. Reizungstakt 0·62 Secunden. Zuckungszahl der Gruppe 90.

Rollenabstand	0	XIV	0	XIV	0	XII	0	XII	0	X	0
Zugewachsene Temperatur	0·33	0·07	0·33	0·00	0·15	0·04	0·018	0·00	0·15	0·00	0·05° C.

B. Muskelgewicht 182 grm. Belastung 889 grm. Ruhezeit 5 Min. Reizungstakt 0·7 Secunden. Zuckungszahl der Gruppe 90.

Rollenabstand	VI	VI	XII	VI	XII	0	XII	0	XII	0
Zugewachsene Temperatur	0·31	0·37	0·21	0·26	0·18	0·33	0·18	0·31	0·13	0·28° C.

C. Muskelgewicht 351 grm. Belastung 687 grm. Ruhezeit 5 Minuten und mehr. Reizungstakt 0·7 Secunden. Zuckungszahl der Gruppe 90.

Rollenabstand	XV	VI	XVIII	0	XVIII	0	XVIII	0	XVIII	0	XVIII	0	XVIII	0
Zugewachsene Temperatur	0·21	0·44	0·06	0·56	0·13	0·56	0·18	0·60	0·13	0·50	0·09	0·37	0·04	0·30° C.

D. Muskelgewicht 208 grm. Belastung 487 grm. Reizfolge 0·7 Secunde. Zuckungszahl der Gruppe 150.

Rollenabstand	0	XVI	0	XIV	0	XIV	0	XII
Zugewachsene Temperatur	0·25	0·07	0·26	0·10	0·11	0·02	0·12	0·02° C.

E. Muskelgewicht 155 grm. Belastung 200 grm. Ruhezeit 3 Min. Reizungstakt 0·5 Secunden. Zuckungszahl der Gruppe 120.

Rollenabstand	XII	X	VIII	VI	IV	0	III	V	VII	IX	XI	XII
Zugewachsene Temperatur	0·01	0·05	0·08	0·12	0·24	0·21	0·16	0·17	0·10	0·07	0·05	0·02° C.

F. Muskelgewicht 204 grm. Belastung 200 grm. Ruhezeit 3 Min. Reizungstakt 0·5 Secunden. Zahl der Zuckungen in 1 Gruppe 120.

Rollenabstand	XXI	XX	XVIII	XVI	XIV	XII	X	VIII	VI	IV	0
Zugewachsene Temperatur	0·01	0·03	0·03	0·05	0·12	0·17	0·20	0·18	0·24	0·24	0·31° C.

X a.

Ruhezeit 5 Min., vor der Gruppe 7 = 20 Min., vor der Gruppe 10 = 46 Min. Reizungsdauer 59 bis 60 Sec. Schlagfolge wechselnd 0·057 und 0·028. Rollenabstand 0 cm. Belastung 680 grm.

Nummer der Gruppe	Zahl der Reize	Zugewachsene Temperatur	Maximaler Hub	Tetanusfläche	Nummer der Gruppe	Zahl der Reize	Zugewachsene Temperatur	Maximaler Hub	Tetanusfläche
1	1035	0·23° C.	24·6 mm	128 □cm	2	2071	0·17° C.	18·8 mm	64 □cm
3	1053	0·20 „	21·8 „	94 „	4	2071	0·19 „	17·5 „	61 „
5	1079	0·16 „	19·6 „	70 „	6	2106	0·14 „	21·0 „	81 „
7	1053	0·14 „	18·0 „	70 „	8	2106	0·12 „	16·4 „	52 „
9	1035	0·15 „	15·4 „	64 „	10	2088	0·16 „	17·0 „	64 „

X b.

Ruhezeit 5 Min. Dauer der Reizung 118 bis 121 Sec. Schlagfolge wechselnd zwischen 0·029 und 0·043 Sec. Rollenabstand 4.

Nummer der Gruppe	Zahl der Reize	Zugewachsene Temperatur	Maximaler Hub	Tetanusfläche	Nummer der Gruppe	Zahl der Reize	Zugewachsene Temperatur	Maximaler Hub	Tetanusfläche
12	2878	0·16° C.	11 mm	54 □cm	13	4195	0·16° C.	9 mm	32 □cm
14	2808	0·17 „	11 „	43 „	15	4247	0·15 „	10 „	33 „
16	2808	0·15 „	11 „	41 „	17	4212	0·12 „	9 „	32 „
18	2796	0·11 „	9 „	32 „	19	4264	0·09 „	6 „	27 „

XII.

Muskelgewicht 355 grm. Ruhezeit 10 Min. Zahl der Zuckungen 150. Schlagzeit 0·7 Sec.

I. Abtheilung. Rollenabstand 5 cm.

Belastung 487 grm.			Belastung 309 grm.		
Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit	Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit
1	0·50° C.	1·019 Kgrmtr.	2	0·49° C.	0·386 Kgrmtr.
3	0·45 „	0·612 „	4	0·40 „	0·442 „
5	0·43 „	0·631 „	6	0·39 „	0·326 „

2. Abtheilung. Rollenabstand 4 cm.

Belastung 487 grm.			Belastung 309 grm.		
Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit	Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit
7	0·39° C.	0·606 Kgrmtr.	8	0·36° C.	0·308 Kgrmtr.
9	0·35 „	0·741 „	10	0·35 „	0·400 „
11	0·29 „	0·560 „	12	0·29 „	0·415 „
13	0·17 „	0·145 „			

XIII.

Muskelgewicht 300 grm. Ruhezeit 10 Min. Zahl der Zuckungen 150. Rollenabstand 5 cm. Schlagzeit 0·75 Sec.

Belastung 558 grm.			Belastung 309 grm.		
Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit	Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit
1	0·66° C.	1·465 Kgrmtr.	2	0·64° C.	0·641 Kgrmtr.
3	0·58 „	0·956 „	4	0·59 „	0·545 „
5	0·55 „	1·172 „	6	0·52 „	0·489 „
7	0·57 „	1·081 „	8	0·62 „	0·406 „
9	0·58 „	1·019 „	10	0·61 „	0·452 „
11	0·60 „	1·015 „	12	0·53 „	0·448 „
13	0·55 „	0·913 „	14	0·47 „	0·424 „
15	0·39 „	0·841 „	16	0·28 „	0·326 „
17	0·07 „	0·198 „			

XIV.

Muskelgewicht 256^{grm}. Ruhezeit 10 Min. Schlagzeit 0·7 Sec. Rollenabstand 5^{cm}. Zahl der Zuckungen in 1 Gruppe 150.

Belastung 412^{grm}.			Belastung 635^{grm}.		
Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit	Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit
3	0·38° C.	0·637 Kgrmtr.	4	0·41° C.	0·979 Kgrmtr.
5	0·45 „	0·596 „	6	0·37 „	0·876 „
7	0·38 „	0·567 „	8	0·35 „	0·886 „
9	0·35 „	0·537 „	10	0·33 „	0·791 „
11	0·29 „	0·468 „	12	0·22 „	0·566 „
13	0·20 „	0·268 „			

XV.

Muskelgewicht 330^{grm}. Ruhezeit 10 Min. Schlagzeit in Gruppe 2 = 1·2 Sec., in den übrigen = 1·0 Sec. Rollenabstand 9·8^{cm}. Zuckungszahl der Gruppe 150.

Belastung 675^{grm}.			Belastung 362^{grm}.		
Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit	Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit
2	0·43° C.	1·481 Kgrmtr.	3	0·40° C.	0·460 Kgrmtr.
4	0·33 „	1·142 „	5	0·36 „	0·650 „
6	0·34 „	1·172 „	7	0·32 „	0·644 „
8	0·11 „	0·643 „			

XVI.

Rollenabstand 6. Zahl der Zuckungen in 1 Gruppe = 500.

Belastung 902^{grm}.			Belastung 1349^{grm}.			Belastung 2018^{grm}.		
Nr. der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit in Kgrmtr.	Nr. der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit in Kgrmtr.	Nr. der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit in Kgrmtr.
1	0·50° C.	2·815	2	0·39° C.	1·626	3	0·28° C.	0·986
			4	0·25 „	0·870			
5	0·25 „	1·057	6	0·25 „	1·008	8	0·23 „	1·709
			9	0·21 „	0·838			
10	0·14 „	0·300	11	0·14 „	0·391	12	0·08 „	0·083

Dasselbe beschränkt auf 200 Zuckungen einer Gruppe.

Belastung 902 grm.			Belastung 1349 grm.			Belastung 2018 grm.		
Nr. der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit in Kgrmtr.	Nr. der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit in Kgrmtr.	Nr. der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit in Kgrmtr.
1	0·22° C.	1·417	2	0·20° C.	0·930	3	0·13° C.	0·400
			4	0·13 „	0·434			
5	0·12 „	0·563	6	0.13 „	0·418	8	0·11 „	0·719
			9	0·09 „	0·414			
10	0·06 „	0·157	11	0·09 „	0·178	12	0·04 „	0·032

XVII.

Fortsetzung von Versuch XVI. Rollenabstand 0. Zahl der Zuckungen 100.

Belastung 344 grm.			Belastung 2018 grm.		
Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit	Nummer der Gruppe	Zunahme der Temperatur	Gelieferte Arbeit
13	0·05° C.	0·048 Kgrmtr.	14	0·05° C.	0·217 Kgrmtr.
15	0·05 „	0·051 „	16	0·07 „	0·428 „
17	0·09 „	0·167 „	18	0·07 „	0·328 „
19	0·04 „	0·085 „	20	0·02 „	0·016 „
21	0·04 „	0·006 „			

XVIII.

Frosch. Körpergewicht 90 grm. Reizungszahl der Gruppen 1 bis 12 = 50, der Gruppe 13 = 300 Einzelreize. In der Sec. 1·4 Reize. Ruhezeit 10 Min.

Nr. der Gruppe	Temperatur des Muskels vor der Gruppe	± der Muskeltemperatur zur Kastenluft	Zuwachs der Muskeltemperatur während der Reizung	Zunahme der Muskeltemperatur in der folgenden Ruhezeit	Summa der Temperaturzunahme	Rollenabst.
1	23·67° C.	—0·40° C.	0·08° C.	0·09° C.	0·17° C.	14 cm
2	23·87 „	—0·36 „	0·06 „	0·10 „	0·16 „	14 „
3	24·03 „	—0·34 „	0·05 „	0·09 „	0·14 „	14 „
4	24·17 „	—0·31 „	0·04 „	0·09 „	0·13 „	14 „
5	24·30 „	—0·26 „	0·11 „	0·05 „	0·16 „	10 „
6	24·46 „	—0·26 „	0·07 „	0·07 „	0·14 „	10 „
7	24·60 „	—0·19 „	0·04 „	0.06 „	0·10 „	10 „
8	24·70 „	—0·13 „	0·03 „	0·04 „	0·07 „	10 „
9	24·77 „	—0·12 „	0·04 „	0·04 „	0·08 „	5 „
10	24·85 „	—0·04 „	0·04 „	0·01 „	0·05 „	5 „
11	24·91 „	—0·04 „	0·02 „	0·02 „	0·04 „	5 „
12	24·95 „	—0·01 „	0·01 „	0·03 „	0·04 „	5 „
13	24·98 „	—0·03 „	0·03 „	0·02 „	0·05 „	0 „
			Summe 0·62° C.	0·71° C.		

XIX.

Muskelgewicht 208 grm mit einer Wärmefassung = 166·4 grm. Belastung 487 grm.

I. Reizungszahl der Gruppe 90.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Menge der Wärme	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Rollenabstand
1	0·101	0·24	2·5 Cal.	10	20 cm
2	0·416	0·98	38·3 „	39	0 „
5	0·071	0·17	2·5 „	14	18 „
13	0·345	0·82	26·6 „	33	0 „
14	0·144	0·34	1·7 „	5	14 „
17	0·322	0·76	15·0 „	20	0 „

II. Reizungszahl der Gruppe 150.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Menge der Wärme	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Rollenabstand
6	0·539	1·27	41·6 Cal.	33	0 cm
7	0·146	0·35	10·8 „	31	7 „
10	0·528	1·25	43·3 „	34	0 „
12	0·409	0·97	16·6 „	17	14 „
15	0·413	0·98	18·3 „	19	0 „
16	0·105	0·25	2·5 „	10	14 „
19	0·459	1·09	31·6 „	29	0 „

XX.

Muskelgewicht 351 grm mit einer Wärmefassung = 280·8 grm. Belastung 687 grm. Reizungszahl der Gruppe 90.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Menge der Wärme	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Rollenabstand
1	0·380	0·90	59·0 Cal.	66	15 cm
2	0·573	1·36	123·6 „	91	6 „
5	0·176	0·42	36·5 „	88	18 „
6	0·694	1·64	157·2 „	96	0 „
7	0·168	0·40	50·5 „	127	18 „
8	0·681	1·61	168·5 „	104	0 „
9	0·155	0·40	36·5 „	91	18 „
11	0·155	0·40	25·3 „	63	18 „
12	0·633	1·50	103·9 „	69	0 „
13	0·082	0·19	11·2 „	58	18 „
14	0·487	1·15	84·2 „	73	0 „

XXI.

Muskelgewicht 291 ^{grm}, nach seiner Wärmefassung = 232·8 ^{grm}.

Nummer der Gruppe	Wärmemenge für eine Zuckung	Arbeit für eine Zuckung in Calorien	Wärme durch Arbeit	Belastung in Grm.	Rollenabstand in Cm.
2	0·38 Cal.	0·016	23·75	456	12·0
3	0·53 „	0·035	15·14	791	9·0
4	0·37 „	0·013	28·46	456	12·0
5	0·48 „	0·033	14·55	791	9·0
6	0·28 „	0·0087	32·18	456	12·0
7	0·42 „	0·028	15·00	791	9·0
8	0·23 „	0·0083	27·71	456	12·0
9	0·41 „	0·036	11·39	791	9·0
10	0·21 „	0·0064	32·81	456	12·0
11	0·30 „	0·017	17·65	791	9·0
12	0·06 „	0·00071	84·51	456	12·0

XXII.

Muskelgewicht 310 ^{grm}, nach seiner Wärmefassung = 248 ^{grm}.

Nummer der Gruppe	Wärmemenge für eine Zuckung	Arbeit für eine Zuckung in Calorien	Wärme durch Arbeit	Belastung in Grm.	Rollenabstand in Cm.
8	0·97 Cal.	0·040	24·25	791	9·5
9	0·73 „	0·020	36·50	456	12·0
11	0·88 „	0·020	44·00	456	12·0
12	0·90 „	0·048	18·75	791	9·5
13	0·76 „	0·019	40·00	456	12·0
14	1·02 „	0·033	30·91	791	9·5
15	0·72 „	0·016	45·00	456	12·0
16	0·92 „	0·033	27·88	791	9·5
17	0·73 „	0·017	42·94	456	12·0
18	0·86 „	0·031	27·78	791	9·5
19	0·69 „	0·016	43·13	456	12·0
20	0·85 „	0·031	27·42	791	9·5
21	0·64 „	0·015	42·67	456	12·0
22	1·11 „	0·031	35·81	791	9·5

XXIII.

Muskelgewicht 365 ^{grm}, nach seiner Wärmefassung = 292 ^{grm}.

Nummer der Gruppe	Wärmemenge für eine Zuckung	Arbeit für eine Zuckung in Calorien	Wärme durch Arbeit	Belastung in Grm.	Rollenabstand in Cm.
1	1·05 Cal.	0·045	23·33	791	7·0
2	0·94 „	0·021	44·76	344	10·0
3	0·90 „	0·057	15·79	1014	7·0

(XXIII. Fortsetzung.)

Nummer der Gruppe	Wärmemenge für eine Zuckung	Arbeit für eine Zuckung in Calorien	Gesammte Wärme durch Arbeit	Belastung in Grm.	Rollenabstand in cm.
4	0·88	0·026	33·85	344	10·0
5	0·71	0·035	20·29	1014	7·0
7	0·45	0·019	23·68	344	7·0
8	0·59	0·045	13·11	1014	7·0
9	0·30	0·017	17·64	344	10·0

XXIV.

Muskelgewicht 423 ^{grm} mit einer Wärmefassung =338·4 ^{grm}. Belastung 570 ^{grm}. Zahl der Gruppenreize 600. Rollenabstand 2 ^{cm}.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge	Gesammte Wärme durch Arbeit
2	2·966	7·02	291·0	41
3	1·961	4·64	236·9	51
4	1·243	2·94	203·0	69
5	0·228	0·54	77·8	144

XXV.

Muskelgewicht 256 ^{grm} mit einer Wärmefassung von 204·8 ^{grm}. Belastung 680 ^{grm}. Reizungszahl der Gruppe 600. Rollenabstand 13·8 ^{cm}.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge	Gesammte Wärme durch Arbeit
3	1·406	3·33	98·1	29
4	0·774	1·83	73·7	40
5	0·583	1·38	63·5	46

XXVI.

Muskelgewicht 377 ^{grm} = einer Wärmefassung von 301·6 ^{grm}. Belastung 546 ^{grm}. In der Gruppe 400 Reize.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge	Gesammte Wärme Arbeitswärme	Rollenabstand
1	2·065	4·89	63·3	13	} 13·5 ^{cm}
2	1·365	3·23	96·5	30	
3	1·681	3·98	93·5	23	} 12·0 „
4	1·155	2·73	102·5	37	

(XXVI. Fortsetzung.)

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppe in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme	Rollenabstand
5	1·048	2·48	126·7	51	10·5 cm
6	0·784	1·85	117·6	63	
7	0·602	1·42	174·9	123	5·0 „
8	0·327	0·77	150·8	195	

XXVII.

Muskelgewicht 292 grm, auf Wärmefassung umgerechnet 233·6 grm. Reizungszahl der Gruppe 200. Belastung 900 grm. Rollenabstand 0.

Nummer der Gruppe	Arbeit der Gruppen in Meterkilo	Arbeit der Gruppe in Calorien	Gesammte Wärmemenge	Gesammte Wärme durch Arbeitswärme
6	0·979	2·31	37·4	16
7	1·238	2·93	46·7	16
8	1·279	3·02	56·1	19
9	1·278	3·02	59·6	20
10	0·096	0·22	18·7	85

XXVIII.

Muskelgewicht 377 grm, auf Wärmefassung berechnet 301·6 grm. Belastung 546 grm. Reizungszahl der Gruppe 200. Rollenabstand 0.

Gruppe und Gruppentheil 9 . .	a	b
Arbeit in Calorien	0·13	0·13
Gesammte Wärmemenge . . .	38·2	0·0

XXIX.

Muskelgewicht 369 grm, auf Wärmefassung berechnet 295·2 grm. Belastung 745 grm. Rollenabstand 5 cm.

Gruppe und Gruppentheil 7	a	b	c	d	e
Arbeit in Calorien , . . .	0·76	0·56	0·26	0·13	0·05
Gesammte Wärmemenge . .	64·9	41·3	8·9	5·9	0·0

XXX.

Muskelgewicht 422 grm, auf Wärmefassung berechnet = 337·6 grm. Belastung 570 grm. Rollenabstand 6 cm.

Gruppen und Gruppentheile 1	a	b	c	d	e	f	g
Reizungszahl eines Gruppenth.	200	200	200	200	200	100	100
Arbeit in Calorien	7·31	5·91	4·83	3·58	1·72	0·54	0·37
Gesammte Wärmemenge . .	182·7	81·2	37·2?	55·1?	27·1	6·8	0·0

XXXI.

Muskelgewicht 260 grm, auf Wärmefassung berechnet 208 grm. Belastung 590 grm. Reizungszahl eines Gruppentheiles 100 oder 200.

Rollenabstand 2. Reizungszahl 200.

Gruppe und Gruppentheil 6	a	b	c	d	e	f
Arbeit in Calorien	0·73	0·53	0·44	0·35	0·27	0·23
Gesammte Wärmemenge . .	39·5	29·1	21·8	13·5	7·3	0·0

Rollenabstand 0, die Gruppentheile a — d = 200, e = 100 Reize.

Gruppe und Gruppentheil 7	a	b	c	d	e
Arbeit in Calorien	0·48	0·45	0·35	0·24	0·09
Gesammte Wärmemenge. .	41·6	37·0	22·9	12·5	0·0

Gruppe und Gruppentheil 8	a	b	c	d
Arbeit in Calorien	0·29	0·32	0·21	0·20
Gesammte Wärmemenge . .	36·4	23·9	16·2	0·0

Wie ist die Resorption der Luft aus der Pleurahöhle zu erklären?

Von

G. Bunge,
Professor der Physiologie in Basel.

Wenn durch eine penetrirende Thoraxwunde Luft zwischen die beiden Blätter der Pleura eingedrungen ist, so wird sie bekanntlich im Falle des Verschlusses und der Heilung der Wunde allmählich wieder resorbirt. Eine physikalische und chemische Erklärung dieser Erscheinung ist bisher niemals versucht worden. Ich glaube nun die Erklärung dafür gefunden zu haben in der folgenden von Ehrlich[1] entdeckten Thatsache.

Ehrlich stellte Untersuchungen an über den verschiedenen Grad des Sauerstoffbedürfnisses und der Sauerstoffanziehung in den verschiedenen Geweben. Er injicirte lebenden Thieren blaue Farbstoffe (Alizarinblau, Indophenolblau), welche durch Sauerstoffentziehung entfärbt werden. Im Blutplasma circulirten diese Farbstoffe in unverändertem Zustande. In gewissen Geweben aber wurden sie entfärbt. Ehrlich fand nun, dass kein Gewebe diese Fähigkeit der Sauerstoffentziehung in so hohem Grade besitzt, wie die Gewebe an der äusseren Oberfläche der Lungen. Diese wichtige Thatsache constatirte Ehrlich durch hundertfache Versuche an Säugethieren, Vögeln und Fröschen.

„Legt man bei Indophenolthieren mit Schonung der Pleura costalis ein Thoraxfenster an, so nimmt man nie im Verlaufe der Respirationsacte eine Bläuung des Lungenparenchyms wahr". „Die Oberfläche der herausgenommenen Lunge dagegen, verbläut deutlich, wenn auch nicht gerade schnell an der Luft. Im Gegensatz hierzu ist es nicht möglich von der normalen Athmungsfläche aus den gleichen Effect zu erzielen, und vermag am ausgeschnittenen Organ selbst eine höchst energische Lungenlüftung keine Spur von Parenchymbläuung hervorzubringen."

---

[1] P. Ehrlich, *Das Sauerstoffbedürfniss des Organismus.* Berlin 1885. S. 32, 36, 143 u. 144.

Durch diese Einrichtung, die Absonderung energisch reducirender Substanzen an der Pleuraoberfläche der Lunge muss aus der Luft, die zwischen die Pleurablätter eingedrungen ist, sehr bald aller Sauerstoff verschwinden. Nach Absorption des Sauerstoffes aber ist der Partiardruck des Stickstoffes in dem Raume der Pleura nahezu gleich einer ganzen Atmosphaere. Der Gesammtdruck im Thorax ist bekanntlich beim Menschen nur um wenige Millimeter Quecksilber geringer als eine Atmosphaere. Der negative Druck schwankt bei der Ex- und Inspiration nur zwischen drei und neun Millimetern. Der Partiardruck des Stickstoffes im Pleuraraume ist also höher als in den angrenzenden Geweben, wo in Folge der directen oder indirecten — durch das Blut vermittelten — Communication mit der Alveolenluft der Partiardruck des Stickstoffes $^4/_5$ einer Atmosphaere nur wenig übersteigen kann. Es muss daher der Stickstoff durch die Gewebe und das Blut in die Alveolen diffundiren. Die Diffusion kann nur langsam erfolgen, weil der Absorptionscoefficient des Stickstoffes ein geringer und die Differenz im Partiardruck desselben an beiden Oberflächen der Lunge keine sehr grosse ist.

Der Stickstoff verhält sich bei der Resorption der Luft aus dem Pleuraraume ebenso wie bei dem bekannten „Müller'schen Versuche"[1] die exspirirte Kohlensäure, welche nach Verbrauch des Sauerstoffes wieder inspirirt wird. Wie bei dem Müller'schen Versuche der Gesammtdruck im Athmungsraume stets constant und gleich einer Atmosphaere erhalten wurde, so kann auch der Gesammtdruck der Gase in der Pleurahöhle beim Pneumothorax sich nur wenig von diesem Werthe entfernen.

Falls aus den Geweben der Lunge und der Thoraxwand Kohlensäure in die Luft des Pleuraraumes diffundirt ist, so muss der Partiardruck der Kohlensäure in dem Maasse steigen, als der Stickstoff fortdiffundirt, und schliesslich höher werden als in den angrenzenden Geweben. Es muss also auch die Kohlensäure resorbirt werden. Der Partiardruck des Stickstoffes aber kann durch die Anwesenheit der Kohlensäure nie bis auf 80 Procent einer Atmosphaere herabsinken, weil bekanntlich der Partiardruck der Kohlensäure in keinem Gewebe bis auf 20 Procent steigt, sondern stets weit geringer ist. Wäre der Partiardruck der Kohlensäure in den Geweben der Thoraxwand und der Lunge höher als 20 Procent einer Atmosphaere, so wäre der Pneumothorax unheilbar. Die Kohlensäure würde an die Stelle des absorbirten Sauerstoffes treten und die Luft könnte nicht resorbirt werden.

---

[1] W. Müller, Beiträge zur Theorie der Respiration. *Annalen der Chemie und Pharmacie.* 1858. Bd. CVIII. S. 257.

Kurzer Bericht über eine wissenschaftliche Reise nach Frankreich.

Ausgeführt mit der Unterstützung und im Auftrage des Ausschusses der Albrechts-Stiftung, Ostern 1886.

Von

Dr. Max von Frey,
Docenten an der Universität Leipzig.

Bei der Ausführung der „wissenschaftlichen Reise nach Frankreich“, hatte ich vornehmlich die Absicht, mich über den Stand der physiologischen Forschung in jenem Lande durch den Augenschein zu unterrichten. Das Bedürfnis hierzu war gegeben durch den geringen Verkehr, welcher zwischen deutschen und französischen Physiologen seit geraumer Zeit besteht, und durch die Schwierigkeit sich aus der Litteratur allein eine zutreffende Vorstellung über die Art und den Umfang der Arbeiten zu erwerben. Es stand dabei zu erhoffen, dass bei der abweichenden, oft originellen Fragestellung, bei der Geschicklichkeit in der Ausbildung der registrirenden Apparate sich mancherlei werthvolle Anregung in Bezug auf wissenschaftliche Fragen und Methoden werde gewinnen lassen.

Im Verlauf einer siebenwöchigen Anwesenheit habe ich die einschlägigen Laboratorien in Paris, Bordeaux, Montpellier und Lyon besucht. Es fehlen somit zu einer vollständigen Kenntnis die Einrichtungen von Lille und Nancy, welche beiden Städte ebenso wie die oben angeführten medicinische Facultäten besitzen.

Der Zeitpunkt der Reise war vielleicht insofern nicht ganz glücklich gewählt, als die meisten der in Frage kommenden Laboratorien sich gegenwärtig entweder in alten ungeeigneten oder in vorläufig eingerichteten Räumen befinden, bis die Herstellung der neuen Prachtbauten vollendet sein wird. Der Eifer, mit dem die gegenwärtige französische Regierung den Neubau der wissenschaftlichen Anstalten betreibt, ist im höchsten Grade anzuerkennen, und doch ist das nur ein kleiner Theil dessen, was auf dem Gebiete des Schulwesens in den letzten 15 Jahren geschehen ist. So sind für sämmtliche medicinische Facultäten Neubauten bewilligt bezw.

in Ausführung begriffen und in Bezug auf Güte des Materials und Reichthum der Ausstattung wird nicht gespart. Die Bauzeit ist aber, wohl aus finanziellen Gründen, eine sehr lange und die vollständige Einrichtung der neuen Räume wird noch geraume Zeit auf sich warten lassen. Am meisten vorgeschritten und der Vollendung nahe ist das Gebäude der medicinischen und philosophischen Facultät in Lyon. Gegenüber dem in Deutschland üblichen System der Abtrennung oder der Barackenbauten hält die französische Regierung noch an der Vereinigung sämmtlicher Hörsäle und Arbeitsräume in einem Gebäude fest, ein System, das die Gefahr mancher Unzuträglichkeiten in sich birgt und die Möglichkeit einer freien Entfaltung bez. Umänderung der einzelnen Laboratorien fast ausschliesst. Sehr erschwert wird namentlich der Unterricht, wenn, wie häufig, eine Anzahl verschiedenartigster Vorträge in einem und demselben Hörsaale abzuhalten sind.

Physiologischen Untersuchungen sind vielerlei Anstalten gewidmet. Es giebt physiologische Laboratorien und Arbeitsräume in den medicinischen und philosophischen Facultäten, an Veterinärschulen, Aquarien, zoologischen Gärten u. s. w. So besitzt allein Lyon drei wohleingerichtete physiologische Laboratorien, Paris deren fünf bis sechs, Montpellier und Bordeaux je eines; auch in Arcachon an der Küste des atlantischen Meeres hat man begonnen das Aquarium mit Einrichtungen zu experimentellen Untersuchungen auszustatten. Demgemäss sind auch die Arbeitsgebiete sehr verschiedenartig, und es giebt kaum eine Richtung der Physiologie, in der nicht eine Bethätigung stattfindet. Es interessirt sich z. B. Marey insbesondere für die Zergliederung der Locomotionsbewegungen beim Menschen und bei Thieren, wozu er theils photographische, theils dynamometrische Methoden anwendet. Da Luft und Licht zu solchen Untersuchungen eine unerlässliche Voraussetzung sind, so wurde ihm vom Staate ein besonderes Laboratorium im Bois de Boulogne, in ländlicher Umgebung, errichtet. Chauveau, welcher im Begriffe ist von Lyon nach Paris überzusiedeln, hat bisher in der Veterinärschule der ersteren Stadt ein Laboratorium geleitet, welches ohne geräumig zu sein, durch zweckmässige und übersichtliche Eintheilung hervorragt und für jede Art von Untersuchungen mit reichen Hilfsmitteln ausgestattet ist, insbesondere aber auf dem Gebiete der Physiologie des Kreislaufes. Vulpian, dem die Physiologie wichtige Aufschlüsse über die Thätigkeit der Gefässnerven verdankt, wird demnächst die ungeeigneten und sehr beschränkten Räumlichkeiten seines Laboratoriums verlassen, um in den Neubau der Ecole de médecine überzuziehen. Pasteur wurde durch die veränderten Ziele seiner Arbeiten aus seinem bisherigen Laboratorium herausgedrängt. So lange er mit rein biologischen Fragen beschäftigt war, fand er in einem Nebengebäude der Ecole normale genügend Platz. Seit seinen Impfversuchen mit Wuthgift wurden aber durch den

Zulauf von Patienten, Aerzten und Neugierigen und durch die Ueberfüllung der Räume mit Versuchsthieren bald so unleidliche Verhältnisse geschaffen, dass Pasteur sich jetzt im Collége Rollin eingerichtet hat, wo er sich besser rühren kann. In noch grösserem Maassstabe hofft er seine Impfungen aufzunehmen, wenn einmal das Institut Pasteur fertig sein wird, für welches ein Voranschlag von zwei Millionen gemacht ist, und für welches bekanntlich eifrig gesammelt wird. Seine Methoden sind zu bekannt, als dass hier der Ort wäre auf sie einzugehen. Die Physiologie und Pathologie des Nervensystems und insbesondere der Nervencentren findet in Brown-Séquard einen eifrigen und gewandten Interpreten. Seine Beobachtungen sind hauptsächlich klinischer Natur, wozu ihm eine ausgebreitete Clientel Gelegenheit giebt.

Grosse Aufmerksamkeit wird in Frankreich auf Versuche über Athmung und Stoffwechsel verwendet, für welche durch die Arbeiten von Lavoisier, Despretz, Dulong, Regnault und Reiset eine glänzende Ueberlieferung geschaffen worden ist. Da es in der Absicht meiner Reise lag, auf Fortschritte der Methodik in diesem Gebiete vornehmlich mein Augenmerk zu richten, so mag es gestattet sein, auf einige einschlägige Beobachtungen näher einzugehen.

Die Apparate zur Messung der Athmungsgase, wie sie sich in verschiedenen Laboratorien finden, sind sämmtlich nach einer der beiden Grundformen, welche bislang eine genaue Messung gestatteten, der Form Regnault und Reiset oder der Form Pettenkofer und Voit, gestaltet. Manche Verbesserungen und Umgestaltungen sind bemerkenswerth.

So leitet Jolyet in Bordeaux in seinem Apparat für warmblütige Thiere die aus den Lungen kommende Luft durch eine Flasche, in welcher eine concentrirte Lösung von Kalilauge in heftigster schüttelnder Bewegung erhalten wird. Dass diese Einrichtung zur raschen Absorption der Kohlensäure beiträgt und damit den Fehler beseitigt, an welchem die ursprünglichen Apparate von Regnault und Reiset litten, kann nicht bezweifelt werden. Von demselben Forscher rührt auch ein hübscher, nach demselben Princip gebauter Apparat her zur Messung des Gaswechsels von Wasserthieren.

Ein Pettenkofer'scher Apparat grösster Form und von sehr zweckmässiger Einrichtung findet sich in Chauveau's Laboratorium in Lyon. Die Ventilation wird durch ein Centrifugalgebläse regelmässig und mit geringem Kraftaufwand geleitet. Zu Beobachtungen an kleineren Thieren bis zur Grösse von Kaninchen hat Arloing (Lyon) dem Pettenkofer'schen Apparate eine Form gegeben, wodurch er, unbeschadet der Genauigkeit der Messungen, äusserst handlich, übersichtlich und billig herstellbar wird. Für die Untersuchung der Wirkung verdünnter, comprimirter und abnorm

zusammengesetzter Luft auf den thierischen Organismus ist das Laboratorium von Paul Bert (rue d'Ulm) mit einer Anzahl sehr sehenswerther Einrichtungen ausgerüstet, die in seinem bekannten grossen Werke „*La pression barométrique*" ihre Beschreibung gefunden haben. Die Versuche werden jetzt von Regnard an Wasserthieren fortgesetzt, namentlich in der Absicht über das Leben derselben in grossen Meerestiefen Aufschlüsse zu erhalten. Hr. Regnard verfügt in dem genannten Laboratorium über Apparate, welche ihm gestatten, kleine Seethiere bei Drücken bis zu 500, ja zu 1000 Athmosphaeren zu beobachten. Die Nothwendigkeit, der Beobachtung wegen zwei gegenüberliegende Wandstücke des Druckgefässes durchsichtig zu erhalten, schafft bei den höchsten Drücken ausserordentliche Schwierigkeiten. Selbst solide Quarzprismen werden angegriffen bezw. zertrümmert.

Hier muss auch des Laboratoriums des Hrn. Gréhant (Jardin des plantes) Erwähnung geschehen, von welchem bekanntlich die in Frankreich allein übliche Form der Quecksilberluftpumpe herrührt. Unter den Arbeiten, welche in letzter Zeit aus diesem Laboratorium hervorgegangen sind, erwähne ich die Untersuchung über die Ausscheidung von Kohlenoxyd, die Benutzung der Kohlenoxydvergiftung zur Bestimmung der Blutmenge des Thieres, den Versuch die Geschwindigkeit des Blutlaufes durch die Lungen zu bestimmen mittels vergleichender Analysen des venösen und arteriellen Blutes und der in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Kohlensäuremengen.

Die calorimetrischen Methoden haben durch D'Arsonval (Collége de France) eine bedeutende Förderung erfahren. Während die Umständlichkeiten und Schwierigkeiten derartiger Versuche es bisher verhindert haben, dass diesem wichtigen Theile der Lehre vom Stoff- und Kraftwechsel die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt wurde, dürfte nun die Forschung sich eingehender mit diesen Fragen beschäftigen. Je nach der besonderen Art des Versuches bringt D'Arsonval die verschiedensten Einrichtungen in Vorschlag, die aber im Wesentlichen darauf hinauslaufen, das Versuchsthier entweder mit einem Flüssigkeits- oder Luftmantel oder endlich mit metallenen Wänden zu umgeben, in welchen thermoëlektrische Ströme erzeugt werden. Die Calorimeter mit Flüssigkeitsmantel halten sich automatisch auf constanter, übrigens beliebig wählbarer Temperatur; die hierzu dienenden Regulationsvorrichtungen geben vermittelst selbstthätiger Aufschreibung Auskunft über die Vorgänge im Inneren des Apparates. Das thermoëlektrische Calorimeter und das Calorimeter mit Luftmantel besitzen dagegen eine veränderliche Temperatur, indem sie Wärme durch Strahlung von dem Versuchsthier aufnehmen und ebenso wieder nach aussen in den umgebenden Luftraum abgeben. Sobald zwischen diesen beiden Vorgängen Gleichgewicht herrscht, wird sich das Calorimeter auf eine constante Tem-

peratur einstellen, deren Höhe von der absoluten Temperatur des Versuchsraumes und der Grösse der Wärmeproduction des Thieres in ganz bestimmter, gesetzmässiger Weise abhängt. Die Vornahme der nöthigen Correcturen, die Registrirung der Eigenwärme des Apparates, die Einhaltung gewisser Vorsichtsmaassregeln wird durch sehr zweckmässige Einrichtungen gewährleistet. Auch die Verbindungen des calorimetrischen Versuches mit einer Messung des Gaswechsels lässt sich nun ohne Schwierigkeit bewerkstelligen. Ein Versuch in dieser Richtung ist bereits von Desplats in dem oben erwähnten Laboratorium von Rouget und Gréhant gemacht worden. Er setzt das kleine Versuchsthier eingeschlossen in eine Kupferbüchse in das Calorimeter von Berthelot. Durch die Büchse wird ein Luftstrom geleitet, der beim Austritt ein Schlangenrohr passirt und dabei seine Wärme an das Calorimeter abgiebt. Die Luft tritt hierauf durch Ventile, welche sie ihres Wasserdampfes und der Kohlensäure berauben, und wird schliesslich von einem schlaffen Kautschukbeutel aufgenommen, der wie eine inspirirende Lunge wirkt, weil er in einen Raum mit negativem Druck luftdicht eingeschlossen ist. In dem Beutel wird also die gesammte Luftmenge des Versuches aufgespeichert und ihre Verarmung an Sauerstoff hinterher bestimmt.

Ich möchte endlich einer grossen Sehenswürdigkeit Erwähnung thun, deren Besuch jedem, der sich für physiologische Fragen interessirt, warm empfohlen werden kann. Ich meine das Atelier für akustische Apparate von Rudolph König in Paris. Man findet dort eine vollständige Sammlung der kostbaren und trefflich gearbeiteten Instrumente, welche aus der Werkstatt im Laufe der Jahre hervorgegangen sind. Man wird aber weiter durch Hrn. König auf eine Anzahl merkwürdiger Erscheinungen beim Zusammenklang von Tönen aufmerksam gemacht, welche zu beobachten sich sonst selten Gelegenheit findet, und welche meines Erachtens mehr Aufmerksamkeit verdienen, als ihnen bisher geschenkt worden ist.

Ich kann nicht schliessen ohne dankbar der Bereitwilligkeit zu gedenken, mit welcher man allerorts meinen Absichten entgegengekommen ist. Die Aufnahme, welche ich gefunden, war ausnahmslos die zuvorkommendste, bei den jüngeren Collegen sogar eine herzliche. Unter meinen Altersgenossen habe ich das aufrichtige Bestreben gefunden die Beziehungen wieder anzuknüpfen, welche früher lebhaft bestanden haben; man täuscht sich nicht über die Nachtheile, welche aus der wissenschaftlichen Absperrung gegen Osten entstehen müssen. Für den Ausländer bieten die Sitzungen der Société de Biologie, welche allwöchentlich im Musée Dupuytren zu Paris stattfinden, ein ausgezeichnetes Mittel zur raschen Orientirung über Alles, was auf biologischem Gebiete geleistet wird und eine Gelegenheit zur Anknüpfung persönlicher Beziehungen.

Histologische Untersuchungen über die Endigungsweise der Hautsinnesnerven beim Menschen.

Von

Dr. Alfred Goldscheider
in Berlin.

(Hierzu Taf. XI u. XII.)

Lückenhaftigkeit der Kenntnisse über die Endigungen der Hautsinnesnerven.

So vielfältig das Studium der empfindenden Hautnerven und ihrer Endigungen von den berufensten Forschern betrieben worden ist, so bietet dieses spröde Gebiet doch in gewissem Sinne eine grössere histologische Lückenhaftigkeit dar, als die anderen Sinnesorgane. Bei letzteren nämlich wissen wir die Endigungen der Nerven mit Apparaten verknüpft, und wenn auch der continuirliche Zusammenhang dieser mit jenen nicht gerade *ad oculos* zu demonstriren ist, so ist dieser doch nach allen Gründen der Vernunft so über jeden Zweifel erhaben, dass wir das befriedigende Bewusstsein geniessen, den Nerven gewissermaassen bis zur Schwelle des materiellen Reizes zu verfolgen, das äusserste Bindeglied zwischen dem inneren perceptiven Menschen und der Aussenwelt nachweisen zu können. So weit sind wir aber bei dem Hautsinnesorgan nicht. Wir wissen im Grunde nur, dass dasselbe einen grossen Reichthum von Nerven enthält. In welcher Weise dieselben jedoch zur Aufnahme der so verschiedenen Reize zugerüstet sind, ob überhaupt bei ihnen eine Anpassung an adaequate Reize vorhanden ist, ob dem nervösen Substrat durch irgend eine Vorrichtung elective Fähigkeiten gegenüber den differenten materiellen Bewegungen der Aussenwelt zukommen, — hierüber kann man nicht einmal mit irgend einem guten Rechte Vermuthungen aufstellen. Ich will hervorheben, dass ich hierbei lediglich an die menschliche Haut denke. Die sogenannten

„Tastkörperchen“ allerdings stehen zweifellos zum Tastsinn in Beziehung und bilden Endapparate der Tastnerven; jedoch kommt ihnen weniger eine allgemeine Relation zu dieser Empfindungsqualität überhaupt, als vielmehr eine locale oder besser regionäre Bedeutung zu — wie ich unten zu beweisen hoffe.

Schwierigkeit der Forschung bei der Haut in Folge von räumlicher Vermischung der Nerven verschiedener Qualität.

Was die Forschung bei der Haut schwierig macht, ist die räumliche Vermischung der verschiedenen Empfindungsqualitäten. Ehe die Lehre von der specifischen Energie der Sinnesnerven die Anschauungen beherrschte, machte sich dieses Moment nicht geltend. Man war mit der Vorstellung befriedigt, dass eben die Haut in ihrer ganzen Flächenausdehnung mit „sensiblen“ Nerven versehen sei, welche jeden materiellen Reiz in seiner Eigenart dem Sensorium zuführten. Später jedoch, als jenes erleuchtende Gesetz gefunden war, schädigte das complicative Verhältniss der räumlichen Vermischung das Verständniss und die Forschung ungemein. Es hatte nämlich zur Folge, dass die histologisch nachgewiesenen Nervenendigungen oder allgemeiner: die histologischen Observate bezüglich der Hautnerven einer physiologischen Interpretation in dem von uns geforderten und hier dargestellten Sinne nicht unterzogen werden konnten. Denn die physiologische Interpretation hatte jetzt den Anschauungen von den specifischen Energien Rechnung zu tragen und musste darauf bedacht sein, den anatomischen Befunden Merkmale abzugewinnen, welche eine Classificirung derselben gemäss den Empfindungsqualitäten erlaubten. Da man aber an jeder noch so kleinen Stelle der Haut, *quasi* an jedem Punkte derselben die verschiedenen Qualitäten vertreten glaubte, so waren für die Interpretation keine exacten Anhaltspunkte gegeben und die Classificirung musste nothwendig, wenn sie überhaupt versucht wurde, etwas Willkürliches haben. Als man an der Haut gewisser Thiere und auch an menschlicher Haut gefunden hatte, dass manche Nervenenden mit Zellen oder zelligen Gebilden in eine Art von Verbindung traten, andere frei auszulaufen schienen, wurde dieser Unterschied als ein maassgebendes Moment für die physiologische Auslegung aufgefasst. Merkel vermuthete, dass die cellulären Endigungen den Tastnerven, die freien den Temperaturnerven entsprechen möchten. Waldeyer, Grünhagen schoben die freien Endigungen dem Gemeingefühl, die cellulären den objectivirten Gefühlen, also denen des Druckes und der Temperatur, zu. Letztere Eintheilung muss, an sich betrachtet, als eine sehr rationelle erscheinen, denn sie fasst die Druck- und Temperaturnerven als echte Sinnesnerven auf und sucht mit vollem Recht

dieselben bezüglich ihres anatomischen Charakters mit den Sinnesnerven in Analogie zu setzen. Jedoch liegt der Mangel an exacten Anhaltspunkten auch hier auf der Hand, und es möchte auch zweifelhaft sein, ob dieser Unterschied zwischen objectivirten und sogenannten Gemeingefühlen nicht vielleicht rein psychischer Natur ist; wenigstens ist es ganz sicher, dass z. B. derselbe Drucknerv, welcher uns eine objective Druck- und Ortsempfindung giebt, auch Schmerz leiten kann. Wie verschiedener Meinung man bei der freien Wahl der Erklärungen sein konnte, geht daraus hervor, dass E. H. Weber (auch Lotze) gerade die Tastkörperchen, als Bläschen aufgefasst, für besonders geeignet zum Uebertragen der Temperaturreize auf die Nerven hielt.

Vortheile der Forschung bei anderen Sinnesorganen in Folge mehr isolirter Localisation der Qualitäten.

Betrachten wir nun dagegen, welche Vortheile die anderen Sinnesorgane der Forschung nach den Nervenendigungen gewähren, so finden wir, dass wir bei denselben mit einer grossen Sicherheit die Beziehung zwischen Nervenende bezw. Endapparat und Empfindung herstellen können, — und zwar auf Grund zweier verschiedener Methoden der Schlussfolgerung. Bei der einen Kategorie nämlich ist in loco nur überhaupt eine Empfindung vorhanden — Netzhaut, Schnecke; bei der anderen wiegt eine Qualität so vor, welche zugleich nirgends anderswo localisirt ist, dass der Befund in absolut berechtigter Weise auf sie bezogen werden kann. Dieses letztere Verhältniss besteht bei Geruch und Geschmack. Es wird Niemand auch nur vermuthungsweise die Geschmacksknospen mit den Gefühlsnerven in Verbindung bringen wollen, obwohl die Zunge und speciell die Papillen auch an letzteren sehr reich sind. — In einer ähnlichen Lage sind wir gegenüber den Tastkörperchen, und wir haben sie demnach in Anwendung desselben Raisonnements sehr richtig in Beziehungen zum Tastsinn gesetzt, welcher ja ungefähr dort am meisten vorherrscht, wo sich diese Gebilde finden. Allein dies ist auch das einzige Beispiel, wo wir bei der Haut in der Lage gewesen sind, die eine oder die andere Schlussfolgerung anwenden zu können. Wir gewinnen daraus die Einsicht, dass ein Fortschritt hier nur zu machen ist, sobald es gelingt, die Bedingungen der einen oder der anderen Kategorie von Sinnesorganen auch für die Haut herzustellen.

Bedeutung der Kälte-, Wärme- und Druckpunkte für die histologische Untersuchung.

Eine Aussicht hierzu wurde nun geboten durch die in neuerer Zeit erworbenen Kenntnisse über die Localisation der Empfindungen in speci-

fischen Punkten. Aus dem früheren „Mit- und Durcheinander" der fraglichen Nerven ist jetzt ein „Nebeneinander" geworden. Zugleich hat das Studium der topographischen localen und regionären Verbreitung der Sinnesqualitäten ergeben, dass hier die eine, dort die andere vorherrscht, ja dass an manchen Stellen die eine und andere ganz fehlt.[1] Es bot sich somit der Weg, die Bedingungen der zweiten Kategorie herzustellen: die Befunde zu vergleichen bei sehr temperaturempfindlichen und gänzlich temperaturunempfindlichen Stellen, bei Stellen von grosser Kälte-, geringer bez. fehlender Wärmeempfindlichkeit und solchen von grosser Wärmeempfindlichkeit, bei Stellen von starker Temperatur-, schwacher Druckempfindlichkeit und solcher von hervorragender Druck-, schwacher Temperaturempfindlichkeit u. s. w. Allein abgesehen, dass eine solche Methode an und für sich dem Subjectivismus unter Umständen zu viel Raum giebt, so ist bei den delicaten Verhältnissen der Hautnervenhistologie ein Erfolg von ihr sicherlich nicht zu erwarten. — Das Ideale wäre daher, die Bedingungen der ersten Kategorie herzustellen, d. h. die Localisationspunkte der verschiedenen Empfindungsqualitäten für sich isolirt zu untersuchen. Aber dies wird immer nur ein Ideal bleiben müssen, denn auch diese Localisationspunkte (Kälte-, Wärme-, Druckpunkte) haben in ihrer unmittelbaren Umgebung andere Gefühlsqualitäten, andere Nerven, so dass eine absolute Isolirung nicht ausführbar ist. Mein Streben ging nun dahin, diesem Ideal möglichst nahe zu kommen und so griff ich zu einer Methode, welche gewissermaassen ein Mittelding zwischen den besprochenen Methoden 1 und 2 ist, nämlich zur Exstirpation kleinster Stückchen der eigenen Haut, welche nur gerade eben einen Kälte-, Wärme- oder Druckpunkt enthielten.

Ein anderer Weg war in der That nicht denkbar, und dieser Umstand möge das Seltsame des Verfahrens rechtfertigen. Dass bei der Verwerthung der discontinuirlich angeordneten Sinnespunkte für die Histologie nur lebende menschliche Haut in Frage kommen konnte, liegt auf der Hand. Material von Operationen zu entnehmen, etwa in der Art, dass vor der Ablation der betreffenden Haut Temperatur- oder Druckpunkte irgendwie bezeichnet oder tättowirt würden, dürfte der Natur der Sache ein ebenso unsicheres wie Anstoss erregendes Verfahren sein. Zudem kann überhaupt auf diesem Gebiete nichts mit der Selbstbeobachtung rivalisiren.

Recapitulation der hier in Betracht kommenden Thatsachen bezüglich der Sinnespunkte.

Ehe ich nun die Methode der Untersuchung schildere, ist es nöthig, kurz die hier in Betracht kommenden Thatsachen bezüglich der Sinnespunkte zu recapituliren.

[1] Neue Thatsachen über die Hautsinnesnerven. *Dies Archiv*. Suppl.-Bd. 1885. S. 60 ff.

Die Kälte- und Wärmepunkte sowohl wie die Druckpunkte reihen sich zu linearen Ketten aneinander, welche meist leicht gekrümmt verlaufen und welche von gewissen Punkten der Haut radien- oder büschelartig nach verschiedenen Richtungen hin ausstrahlen. Diese Ausstrahlungspunkte fallen vorwiegend mit den Insertionen der Härchen zusammen, während der Verlauf der Punktketten hauptsächlich zwei Richtungen zeigt, nämlich die eine parallel der Ebene der Haare, die andere senkrecht zu derselben. Die Kälte- und Wärmepunkte können Druck- und Schmerzreize als solche nicht zur Empfindung bringen, werden sie dadurch erregt, so antworten sie mit Temperaturempfindung. Auf der zwischen den Druckpunkten gelegenen Haut werden Druck- und Schmerzreize ebenfalls, jedoch viel schwächer als an den Druckpunkten, wahrgenommen; Nadelstiche erzeugen auf ihr einen vorübergehenden, an den Druckpunkten einen während der ganzen Zeit der Reizung anhaltenden Schmerz.

Methode der Untersuchung.

Die zu exstirpirenden Punkte entnahm ich gewöhnlich von meinem linken Unterarm. Es wurden je in einer Sitzung nur 1—2 Punkte entnommen, und zwar von gleicher Qualität, also entweder Kälte- oder Wärme- oder Druckpunkte. Die ersteren wurden mit dem zugespitzten kalten oder warmen Metallcylinder aufgesucht, die Druckpunkte mit der an einer Spirale befestigten Nadel. Die Bezeichnung geschah mittels eines feinen Farbenpunktes. Waren in dieser Weise etwa sechs einzelne Punkte bestimmt, so wurde eine Pause gemacht und nach etwa einer Viertelstunde noch einmal geprüft, ob die Farbenpunkte genau die richtige Stelle getroffen hatten, und wurden event. Correcturen vorgenommen. Sodann wurden die bezeichneten Punkte darauf hin untersucht, ob nicht in der unmittelbaren Nachbarschaft derselben Punkte anderer Qualitäten lägen, also z. B. bei einem Kältepunkte, ob nicht ein Wärme- oder Druckpunkt unmittelbar angrenzte. War dies der Fall, so wurde der Punkt gelöscht. Auf diese Weise verminderte sich die Zahl der zur Verfügung stehenden Punkte diese entsprachen dann aber der Bedingung, dass rings um sie herum nur jene matte Druckempfindlichkeit vorhanden war, wie sie der punktfreien Haut zu eigen ist. Jetzt wurde eine fein gespitzte Nadel senkrecht auf den Farbenpunkt aufgesetzt und in alternirendem Heben und Wiederaufsetzen über denselben hin und herumgeführt. Bei den Temperaturpunkten gelangte ich auf diese Weise zu einer bestimmten Nadelstellung, bei welcher ein Gefühl des Druckes nicht mehr auftrat; sobald dies der Fall war, wurde die Nadel etwas tiefer eingedrückt, wobei ein feines Kälte- bezw. Wärmegefühl wahrgenommen wurde, und sodann mittels leichter

Drehungen ein wenig in die Oberhaut eingebohrt — wobei kein Schmerz entstand. Waren diese charakteristischen Erscheinungen nicht vorhanden, wurde Druck und Schmerz vom Temperaturpunkt gefühlt, so wurde von der Exstirpation Abstand genommen und der Farbenpunkt gelöscht. — Bei den Druckpunkten ergab sich während des Tastens mit der senkrecht aufgesetzten Nadel eine Stellung derselben, bei welcher die deutlichste Druckempfindung wahrgenommen wurde und bei welcher der tiefere Druck den charakteristischen, quetschenden, anhaltenden Schmerz erzeugte. Das Einbohren der Nadel wurde jedoch bei den Druckpunkten fast stets unterlassen, weil die maximale Druckempfindlichkeit gewöhnlich eine breitere Ausdehnung hat als der Nadelspitze entsprechen würde, so dass eine den Temperaturpunkten analoge scharfe Bestimmung mehr oder weniger willkürlich sein würde.

Sofort nach dieser Manipulation wurde zur Exstirpation geschritten. Eine feine krumme Nadel wurde hart an dem Farbenpunkt eingestochen, in geringer Tiefe unter demselben hindurchgeführt und auf der entgegengesetzten Seite des Punktes dicht an dem Rande desselben ausgestochen, so dass der Farbenpunkt selbst gerade mitten auf der Nadel sich befand. Sodann wurde das stumpfe Ende der Nadel von einem Gehülfen gefasst und letztere leicht angehoben, derart, dass die auf der Nadel ruhende Hautbrücke eine kleine Erhebung bildete. Jetzt setzte ich ein gebauchtes und mit einem leichten Oelhauch versehenes Scalpell in den von Nadel und Hautoberfläche gebildeten spitzen Winkel ein, die Schneide dem stumpfen Ende der Nadel zugekehrt, damit ein Herausgleiten der Nadelspitze vermieden würde, und führte dasselbe sägend mit nahezu flach gehaltener Schneide unmittelbar an der unteren convexen Fläche der Nadel durch die Haut hindurch. Bei gut gelungener Exstirpation konnte dann das Hautstückchen, welches durch einige Fasern immer noch in enger Verbindung mit der Nadel zu bleiben pflegt, an letzterer einfach herausgehoben werden. Zuweilen aber schnitt das Messer auf der einen Seite der Nadel früher durch als der andere; in diesem Falle wurde es mittels einer Irispincette angehoben und die noch bestehende Verbindung durchtrennt.

Anfänglich begnügte ich mich hiermit. Später aber vervollkommnete ich den Modus, um eine rationellere Bestimmung der Schnittrichtung zu ermöglichen, in welcher die behufs mikroskopischer Untersuchung anzufertigenden Schnitte gelegt werden sollten. Ich hatte nämlich die Vorstellung, dass die Ketten der Sinnespunkte der longitudinalen Ausbreitung der Nervenfasern entsprechen möchten, und es ergab sich daraus das Streben, die mikroskopischen Schnitte parallel diesen Punktketten anzulegen, um so möglichst Längsschnitte der Nervenfasen zu bekommen. Zu diesem

Zwecke bestimmte ich nun nicht mehr vereinzelte Sinnespunkte auf der Hautoberfläche, sondern eine Kette derselben und wählte nach den oben dargestellten Grundsätzen einen Punkt dieser Kette zur Exstirpation aus. Die Nadel wurde so eingeführt, dass sie zur Verlaufsrichtung der Kette senkrecht stand; letztere zieht also quer über dieselbe hinweg, während der zu exstirpirende Farbenpunkt sich gerade auf der Nadel befindet (vergl. Abbildung I). Es muss nun bemerkt werden, dass diejenige Seite des Hautstückchens, auf welcher das Messer eingesetzt wird, einen geradlinigen Schnittrand zeigt, während derselbe auf der entgegengesetzten, wo das Messer ausgeführt wird, mehr oder weniger gekrümmt ist. Es folgt dies mit Nothwendigkeit aus der Art des Schneidens, und es ist sehr leicht, wenn man es darauf anlegt, diesen Gegensatz mit noch grösserer Schärfe hervortreten zu lassen. Wird nun bei der vorbemerkten Lage der Nadel das Messer wieder in den spitzen Winkel eingesetzt und so durch die Haut geführt, so liegt der gerade Schnittrand, welcher dem Einsetzen entspricht, parallel zur Verlaufsrichtung der Punktkette. Demgemäss brauchen die weiteren Schnitte nur parallel diesem geraden Schnittrand gelegt zu werden, — welcher sich auch bei der ferneren Praeparation des Stückes als solcher enthüllt. Fig. 2 (Taf. XI) zeigt Grösse und Form solcher Stückchen.

Die durch die Exstirpation veranlassten Sensationen scheinen mir der Mittheilung werth zu sein. Es wurde im Allgemeinen durch den Schnitt bei den Temperaturpunkten ein minimaler, bei den Druckpunkten ein erheblicherer Schmerz hervorgerufen. Das Einsetzen der Schneide und Einführen in die punktfreie Haut war von einem leicht schneidenden, kaum schmerzhaft zu nennenden Gefühl begleitet. Bei den Temperaturpunkten trat oft während der ganzen Schnittführung nur dieses Gefühl hervor, in anderen Fällen wurde es in der Tiefe etwas schmerzhafter. Von grossem Interesse war mir nun die oft gemachte Wahrnehmung — welche ich mich fast scheue mitzutheilen, da der Vorwurf der Phantasterei leichter gemacht, als der Versuch nachgeprüft ist — dass in einem bestimmten Moment des Durchschneidens eine Temperaturempfindung entstand, und zwar wurde sowohl ein aufblitzendes Kältegefühl wie ein intensives Hitzegefühl beobachtet. Bei den Druckpunkten ging das zuerst matte schneidende Gefühl beim Vordringen des Messers bald in ein merkliches, oft recht intensives Schmerzgefühl über; in einem bestimmten Momente war dasselbe völlig erloschen und die Beendigung des Schnittes erfolgte dann fast ohne Schmerz. — Dass diese Sensationen, das Temperatur- und das starke Schmerzgefühl, durch das Trennen der zu den betreffenden Sinnespunkten eilenden Nerven, also der Temperatur- bezw. der Drucknerven zu erklären ist, darüber dürfte kein Zweifel sein.

Die exstirpirten Hautstückchen waren von kegelförmiger Gestalt, derart, dass die Basis des Kegels die Oberhaut bildet, während die Spitze desselben bis zu den tiefsten Cutisschichten verläuft. Die Grösse derselben betrug meist 1 bis 1·2 mm in der Länge, 0·5 bis 0·7 mm in der Breite, 1 bis 1·3 mm in der Dicke (siehe die Abbildungen Fig. II).

Nach vollendeter Exstirpation wurde das Stückchen vorsichtig von der Nadel abgestreift, schnell in destillirtem Wasser abgespült und sodann in 0·5 procentige Arsensäure eingelegt, wo es circa 5 bis 10 Minuten verblieb bis es etwas durchscheinend geworden. Hierauf wurde es in 0·1 bis 0.2 procentige Goldchloridlösung überführt, in welcher es, die Epidermisfläche nach unten, 2 bis 3 Stunden verblieb, bis es einen gelben Farbenton angenommen hatte; während dieser Zeit wurde es im Dunklen gehalten. Weiter wurde es in 1 procentige Arsensäure, nach vorherigem Abspülen mit destillirtem Wasser, eingelegt und in dieser am Licht reducirt. War die Reduction vollendet, was ungefähr innerhalb eines Tages eintritt und sich durch den bekannten violettschwärzlichen Farbenton kennzeichnet, so wurde zur Einbettung geschritten. Dieselbe geschah in Paraffin. Schon im Chloroform und noch mehr im Paraffin schrumpft das Gewebe bedeutend, offenbar in Folge der vorangegangenen Aufquellung durch die Säure. Unmittelbar aus dem geschmolzenen Paraffin wurde nach gehöriger Durchtränkung — wozu bei diesen kleinen Gewebsmassen schon 1 bis $1^1/_2$ Stunden hinreichen — das Stückchen mit erwärmtem Löffel herausgehoben, auf Fliesspapier von anhängendem Paraffin befreit und mit der Epidermisfläche auf einen Objectträger gelegt, so dass der vorbemerkte gerade Rand des Kegels dem Längsrand des Objectträgers parallel lag, und zugleich etwas angedrückt. Sodann wurde härteres geschmolzenes Paraffin vorsichtig aufgeträufelt, wobei das Stückchen seine Lage nicht verändern darf, und besonders darauf geachtet, dass auch zwischen Epidermisfläche und Glas etwas Paraffin einfloss. Nach genügender Abkühlung wurde zunächst von der unteren Fläche des Objectträgers aus nachgesehen, ob der gerade Rand des Kegels noch richtig stand, was jedoch jetzt meist schwer zu beobachten ist, und sodann ein Rechteck ausgeschnitten, dessen lange Seite dem geraden Rande des Stückchens parallel läuft. Dieses Rechteck wurde im Mikrotomkästchen auf die lange Seite, welche genau wagerecht liegen muss, aufgestellt und mit Walrath aufgeklebt, derart, dass die Epidermisfläche gegen die Mikrotomschneide gerichtet war. Auf diese Weise wurden Verticalschnitte durch die Haut gewonnen, welche parallel der Punktkette gerichtet waren. Jedes exstirpirte Stück wurde nun in eine vollständige Schnittserie zerlegt, welche gewöhnlich 50 bis 70 Schnitte umfasste.

Im mikroskopischen Bilde machte sich auf je einer Anzahl von Schnitten der vor der Exstirpation gemachte senkrechte Einstich mit der Nadel als

ein die Oberhaut durchsetzender Canal geltend, dessen Wände meist mit Goldniederschlägen versehen waren. Mehrfach setzte sich derselbe auch spaltförmig in die Cutis fort, hat auch einige Male die Praeparate durch Incrustationen mit Gold verdorben. Es gelang später, ihn nur auf eine kleine unschädliche Auflockerung der Epidermis zu reduciren; mehrfach wurde er auch gar nicht gemacht, nachdem ich so weit war, ihn entbehren zu können — dies alles gilt nur von den Temperaturpunkten, da bei den Druckpunkten überhaupt selten ein Einbohren der Nadel vorgenommen wurde.

Nach dieser Anordnung war die Annahme berechtigt, dass diejenigen Nerven u. s. w., welche sich etwa im mikroskopischen Bilde in unmittelbarster Nähe des Kanals finden würden, der betreffenden Sinnesqualität zugehören würden, welcher der Punkt angehört hatte.

Um die dem eben geschilderten Praeparationsmodus zu Grunde liegende Anschauung von der Bedeutung der Punktketten noch einer besonderen Prüfung zu unterwerfen, wurde noch eine Anzahl von Exstirpationen in der Weise vorgenommen, dass nicht ein Punkt mit seiner nächsten Umgebung, sondern ein Stück einer Punktkette herauspraeparirt wurde. Dies geschah in ganz entsprechender Weise wie oben, nur dass die Einsetzung des Messers eine linear mehr ausgedehnte war. Es wurden schmale längliche Stückchen gewonnen, welche einen Theil der Punktkette in longitudinaler Ausdehnung enthielten. Das längste dieser Stückchen erreichte eine Ausdehnung von 2^{mm} (vergl. Fig. 2 *d*.).

Schilderung der histologischen Befunde. Nervenvertheilung in der Haut im Allgemeinen.

Bei der Schilderung der histologischen Befunde berichte ich zunächst über die nach dem letzterwähnten Modus gemachten Praeparate, weil dieselben grundlegend für die weiteren Betrachtungen sind.

Ein solches, einen Abschnitt einer Punktkette enthaltendes Stück bietet, in eine Serie von Verticalschnitten zerlegt, beim Durchmustern folgendes Bild: Während Dutzende von Schnitten nur ganz spärliche, auch gar keine Capillarschlingen zeigen, bietet sich auf einem Schnitt eine mächtige, durch die ganze Longitudinalausdehnung desselben sich erstreckende Gefässverzweigung dar, welche sich auf den 2 bis 4 nächstliegenden Schnitten vervollständigt. Gewöhnlich zeigen die benachbarten Schnitte Etappen des Gefässbaumes in der Weise, dass der aus der Tiefe emporsteigende mächtige Gefässstamm in folgweisen Abschnitten durch 2 bis 3 Schnitte zieht, dann in dem nächsten Schnitt eine ausgedehnte Ramification und Arcadenbildung zeigt, während der jetzt folgende durch dichtgedrängte subepitheliale Capillarschlingen das

Bild vervollständigt. Da die Schnitte genau vertical geführt wurden, so lässt sich aus dieser Anordnung der Schluss ziehen, dass der Gefässbaum nicht vertical, sondern schräg, in einem schwachen Winkel zur Verticalen, gegen das Stratum papillare aufsteigt. — Zugleich mit dem Gefässstamme sieht man Nervenfasern aufsteigen, welche sich ebenfalls verzweigen und in dichter Anlagerung die Gefässe gegen die Oberfläche der Cutis hin begleiten. [1]

Dieses Bild ist in dem ganzen zerlegten Stück nur einmal vorhanden und die dasselbe darbietenden Schnitte bilden ungefähr die Mitte der ganzen Serie.

Es kann somit gar kein Zweifel sein, dass diese im Längsschnitt sich praesentirenden Gefäss- und Nervenbäume den Sinnespunktketten entsprechen. Die a priori gefasste Vorstellung über die Bedeutung der letzteren hat durch die mikroskopische Untersuchung die directeste Verificirung gefunden, und es ist gewiss auch ein allgemein-anatomisch nicht uninteressantes Resultat, dass in der äusseren Aufführung und Bestimmung der Temperatur- und Druckpunkte ein Mittel gegeben ist, die Verbreitung der Gefässe und Nerven in der Haut zu studiren.

Die Thatsache, dass die Gefässe in flach ausgebreiteten Circulationsebenen die Haut durchsetzen, ist nicht neu. Tomsa [2] hat an Injectionspraeparaten dieses Verhältniss nachgewiesen. Er unterscheidet betreffs der Lage der Circulationsebene zwei Kategorien: die eine „wo die Circulationsebene keine regelmässige Lage hat, daher nicht im Voraus bestimmt werden kann; die andere, wo man sie ihrer grösseren Regelmässigkeit wegen mit Wahrscheinlichkeit angeben kann. In die erste Kategorie zählen Hautstücke mit nicht scharf oder ungleichförmig spaltbarem Hautgerüste, d. h. wo die Richtung der Spaltbarkeit sich beständig ändert.“ „Zur zweiten Kategorie gehört die Haut, welche auf grössere Strecken scharfe, gleichförmige Spaltbarkeit besitzt, also zumal jene Orte, wo die Haareinstülpungen und Hebelmuskeln vorkommen.“ Um von letzteren Orten eine vollständige Ansicht einer Circulationsebene zu gewinnen, muss man nach Tomsa den Schnitt folgendermaassen führen: „Der Schnitt wurde so be-

[1] Während schöne Gefässlängsschnitte nach der angegebenen Methode etwas häufiges sind, geschieht es nur sehr selten, eine Nervenramification in einer gewissen Vollständigkeit aufzurollen. Angesichts der Dünnheit der Nerven, welche bei dem geringsten Ausbiegen derselben aus der Ebene ein Zerstückeln durch den Schnitt zur Folge haben muss, und ferner der Leichtigkeit, mit welcher Nerven von den ebenfalls tingirten Gefässen verdeckt werden, muss man in dieser Beziehung sehr bescheidene Ansprüche machen und an der Annahme festhalten, dass die Wirklichkeit hier jedenfalls stets viel vollständiger ist als das mikroskopische Praeparat.

[2] Beiträge zur Anatomie und Physiologie der menschlichen Haut. *Archiv für Dermatologie.* 1873. Bd. V.



reitet, dass man die Schneide des Messers im Zwischenraum zwischen zwei Haarbälgen ansetzt und nun die Klingenfläche nicht der Querebene, sondern der Einsenkungsebene der Haarbälge parallel führte." Es ergiebt sich hieraus, dass „bei scharfer und gleichförmiger Spaltbarkeit der Blutstrom der zusammengehörigen Blutgefässschlinge eines Hautbezirkes in einer ebenen Fläche auseinandergefaltet erscheint, die zur localen Spaltbarkeitsebene mehr oder minder senkrecht stehend, der Haarrichtung ungefähr parallel geht, also mit der Hautoberfläche spitze Winkel bildet." Unna[1] ergänzte dies dahin, dass diese Circulationsebenen auch aufgedeckt werden können durch eine senkrechte Schnittführung, welche zugleich der Spaltungs- und Haarrichtung parallel geht, und giebt eine Abbildung, aus welcher dies Verhältniss zur Evidenz hervorgeht (vom Unterschenkel). Man hatte somit ein Recht die Ansicht aufzustellen, dass die Cutis von schräg oder senkrecht in ihr stehenden Circulationsebenen durchsetzt sei, zwischen welchen sich relativ gefässarme Regionen finden (Unna) und auch ein Recht, diesen Modus auch für die Nerven anzunehmen, deren Zusammengehen mit den Gefässen man ja sonst in der Haut beobachten konnte. Diese Ansicht hat durch die Ergebnisse meiner Untersuchung volle Bestätigung gefunden. Tomsa, ausgehend von dem Bau, den Spannungsverhältnissen des Fasergerüstes der Cutis, — ich ausgehend von den topographischen Verhältnissen der Hautsensibilität, sind wir beide zu demselben Resultat gelangt, und die Erweiterung, welche ich den Tomsa'schen Aufstellungen geben zu müssen glaube, besteht in der Hauptsache nur darin, dass das analoge Verhältniss der flach ausgebreiteten Innervationsebenen in stringenterer Form aus meiner Schilderung hervorgeht. Eigentlich hätten ja schon die Tomsa'schen Untersuchungen darauf führen müssen, dass ebenso wie zwischen den Circulationsebenen sich gefässarme Partien befinden, so auch stärker empfindliche Linien die Hautoberfläche durchziehen müssen, zwischen welchen die Haut weniger empfindlich sei; allein dieser nicht gerade fernliegende Schluss ist nirgends gezogen worden. Eine zweite Erweiterung besteht darin, dass ich — in Uebereinstimmung mit Unna — behaupten kann, dass nicht bloss senkrecht, sondern auch parallel zur Spaltbarkeitsebene die Gefässe und Nerven sich ausbreiten, und dass sie nicht bloss schräg, sondern auch nahezu senkrecht aufsteigen.

Mit der Feststellung der Thatsache, dass die Sinnespunktketten den Innervationsebenen entsprechen, hat nun der oben geschilderte Modus der Punktexstirpation seine Berechtigung erhalten; es war nun in der That

[1] *Entwickelungsgeschichte und Anatomie der Haut.* S. 101, in v. Ziemssen's *Handbuch der speciellen Pathologie und Therapie.* Bd. XIV.

zu erwarten, dass bei der in der Richtung der Kette angelegten Schnittführung die Nervenfasern sich im mikroskopischen Bilde annähernd im Längsschnitte praesentiren würden — und diese Erwartung hat sich erfüllt. Ich folge demnach bei der Beschreibung denjenigen Praeparaten, welche eine gelungene Schnittrichtung in diesem Sinne zeigen.

Beschreibung der exstirpirten Stückchen und der Schnittserien im Allgemeinen.

Durchmustert man die Serie flüchtig behufs Orientirung mit mässiger Vergrösserung, so findet man die ersten Schnitte lediglich aus Epidermisstreifchen bestehend. Bald aber setzt sich ein schmaler Cutisrand an, der sich in jedem folgenden Schnitt verbreitert und dann schnell die charakteristische nach unten spitz zulaufende Form annimmt, wie sie dem Durchschnitt des Kegels entspricht, um schliesslich gegen das Ende der Serie hin wieder die umgekehrte Wandlung durchzumachen. Diejenigen Schnitte, welche sich als grösste praesentiren, enthalten auch gewöhnlich den künstlichen Oberhautkanal. — Der Papillarkörper zeigt sich in der jener Körpergegend (Unterarm) zukommenden und flachen Ausbildung; ab und zu laufen auch stärker prominirende, mit Capillarschlingen erfüllte Papillen mit unter. — Auf den ersten Schnitten der Serie finden sich hier und da durchschnittene Capillarschlingen, wie isolirt dastehend; nach der Mitte des Stückes zu erscheinen mehr davon und nun kommen einige Schnitte, welche einen ganz markanten Reichthum an Gefässen zeigen: dieselben ziehen durch den ganzen Schnitt hindurch, dicht unter dem Stratum papillare hin, Schlingen nach oben sendend; gewöhnlich sind dann auch aus der Tiefe aufsteigende Gefässe sichtbar; weiterhin werden sie wieder seltener, man sieht wieder die discontinuirlichen Abschnitte der Capillaren, und es können Schnitte kommen, welche eine ganz auffallende Armuth an Gefässen bekunden, bezw. selbst letztere gar nicht enthalten. Häufig steigen die zuführenden Gefässstämme neben einem Haarbalg in die Höhe und gehen die Circulationsebenen von den Haaren aus. Vgl. Figg. 5, 7 *b*, 19. — Die Oberhaut ist nicht selten an den Ecken von der Cutis abgelöst, die tiefsten Zellschichten sind in bekannter Weise sehr dunkel gefärbt. Die Zellen zeigen meist eine schöne wohlerhaltene Form, und dann treten die Kerne gut hervor, — oder sie sind geschrumpft. Die Bindegewebszellen der Cutis sind tief gefärbt, mit ihren Ausläufern; ebenso die Capillaren.

Der Grad der Goldfärbung muss nach meinen Erfahrungen ein ziemlich beträchtlicher sein, soll man die feinsten Nervenfasern sehen können. Diejenigen Praeparate, welche mässig gefärbt sind und deshalb gewöhnlich

eine grössere Eleganz des histologischen Bildes zeigen, bieten für die feinsten Verzweigungen der Nervenfasern oft zu wenig.

Wenn dies das allgemeine Bild der aus einem exstirpirten Sinnespunkt in der Längsrichtung der Punktkette gewonnenen Schnittserie ist, so möge nun die speciellere Beschreibung die Druckpunkte einerseits und die Temperaturpunkte andererseits einer gesonderten Betrachtung unterziehen.

Druckpunkt.

Ein Bündelchen markhaltiger Nervenfasern steigt aus den tieferen Schichten der Cutis mehr oder weniger schräg gegen die Epithelgrenze empor, gemeinschaftlich mit Gefässen. Nachdem es bis dicht an die unterste Zellenreihe vorgedrungen ist, zerfällt es in eine Anzahl von Nervenfasern, welche sich flach unter der Epitheldecke ausbreiten, letzterer in unmittelbarster Nähe angelagert. Sie streben dabei meist zwei Hauptrichtungen zu, indem die einen den schräg aufwärtsgerichteten Verlauf des zuführen-Bündels nahezu fortsetzen, die anderen umkehren und die entgegengesetzte Richtung verfolgen, beide die Direction der Punktkette festhaltend. Jede einzelne dieser Fasern verläuft eine gewisse Strecke, leicht wellenförmig sich schlängelnd, dicht unter dem Stratum mucosum hin, indem sie hin und wieder feinste Aestchen gegen das letztere emporsendet, um schliesslich selbst mit einer schwachen aufwärts gerichteten Biegung die unterste Zellenschicht zu erreichen und damit ihr Ende zu finden. Dabei sind nun diese Nervenfäden von verschiedener Länge; wenn der eine durch wiederholte Abzweigung von Aestchen und schliessliches Einbiegen in die Epithelgrenze sich erschöpft hat, beginnt der nächstlängere seine Schösslinge zu treiben, bis er dasselbe Schicksal erfährt. Auf diese Weise kommt jeder der Nervenfasern ein gewisses Territorium der Cutisoberfläche zu, welches sie versorgt, und die einzelnen Territorien lagern sich unmittelbar neben einander, scheinen auch hier und da in einander überzugreifen. Die Nervenfasern legen ihren Weg zum Theil dicht vereinigt, zum Theil von einander getrennt zurück. — Diese Ausbreitungsweise entspricht ganz der Beschreibung, welche Henle von den Hautnerven überhaupt giebt:[1] „Sie gleichen kriechenden Wurzeln einer Pflanze, welche senkrecht nach oben Schösslinge treiben.“ Eine netzförmige Bildung ist nicht vorhanden, jede Faser verläuft für sich, ohne auch bei der grössten Nähe mit einer anderen sich zu verbinden. Die ganze Länge der Ramification ist gewöhnlich in einem Schnitt nicht enthalten, vielmehr setzt sich dieselbe in den benachbarten Schnitten stückweise noch fort, jedoch ist der grösste Theil der-

[1] Henle, *Handbuch der systematischen Anatomie*. 2. Aufl. Bd. II. S. 18.



selben und die dichteste Concentration von Nervenfasern meist auf einem einzigen Schnitt zu sehen. Man muss daraus einmal schliessen, dass die Ausbreitung der Nerven nicht ganz dieselbe Ebene innehält oder aber auch, dass die Schnittführung noch nicht genau in die Innervationsebene fällt, und zweitens, dass die Breite der Ramification eine minimale ist. Es ist geradezu nur eine Linie der Haut, welche von dem aufsteigenden Nervenbündel versorgt wird. Es entsteht nun bei dieser Gelegenheit die Frage, ob die Nervenfasern der Endausbreitung wirklich so gut wie in einer Ebene verlaufen oder ob etwa mehrere neben einander parallel sich erstrecken. Wenn ersteres der Fall wäre, so müsste man an derselben Stelle, wo man bereits longitudinale Fasern constatirt hat, in den nächsten Schnitten bezw. nach einer Anzahl von Schnitten wiederkehrende longitudinale Fasern sehen. Ein solches Verhältniss habe ich jedoch nicht beobachtet; die Complettirung des Bildes bezieht sich fast nur auf die Längenausdehnung der Ramification, fast gar nicht auf die Breite derselben.[1] Zuweilen allerdings scheint auch letztere durch mehrere Schnitte sich hindurchzuerstrecken, allein dann handelt es sich, wie ich mich überzeugt zu haben glaube, nur um jene oben erwähnte Schrägheit der aufsteigenden Innervationsebene, welche auf Verticalschnitten ein solches Verhältniss producirt. Natürlich ist der Begriff der Ebene nicht im mathematischen Sinne zu nehmen; vielmehr ist ein Nebeneinandergehen der Fasern in minimaler Entfernung gewiss, wie die Betrachtung des Bildes, wie es ein einziger Schnitt gewährt, ohne weiteres lehrt. Man könnte noch einwenden, dass diejenigen Nervenfasern, welche etwa von dem zuführenden Bündel aus andere Richtungen als die longitudinale einschlagen, nicht gut nachzuweisen sein würden, weil sie in Quer- oder Schiefschnitt erscheinen müssten, dass demnach die Möglichkeit einer Ausdehnung in die Breite immer noch vorhanden sei. Dem gegenüber muss aber geltend gemacht werden, dass Schnittführung in anderer als der beschriebenen Richtung keine Longitudinalansichten zu Tage fördert, wie ich an den Praeparaten, welche ich vor genügender Ausbildung der Methode angefertigt habe, leider mich zu überzeugen Gelegenheit hätte. Aber freilich gilt dies nur bis zu einer gewissen Grenze. Denn dass einzelne Fäserchen auch hierhin und dorthin ihren Lauf nehmen könnten, dürfte nicht bestritten werden, ja, es

[1] Natürlich können solche Circulationsebenen gelegentlich einander sehr nahe rücken. Ich bin in einem Stück nach einer Anzahl von Schnitten auf eine zweite Gefässebene, die auch einzelne Nerven enthielt, gestossen; die Distanz zwischen beiden mag ungefähr $0 \cdot 1^{mm}$ betragen haben. Dies ist natürlich immerhin eine Entfernung, bei welcher von einer Completirung der einen Ebene durch die andere nicht die Rede sein kann.



ist dies sogar sehr wahrscheinlich, worauf ich bei der Besprechung der Gefühlsnerven noch zurückkommen werde.

Derjenige Schnitt, welcher gute Längsschnittsbilder der Nerven des Druckpunktes zeigt, enthält im allgemeinen wenig Gefässe, meist nur abgeschnittene vereinzelte Capillarschlingen. Dies bezieht sich jedoch nur auf die flache Ausbreitung der Nerven, während das zuführende Bündel sehr gewöhnlich in dichter Anlagerung an Gefässe gefunden wird. In den Nachbarschnitten aber treten sehr bald Gefässarcaden im Längsprofil auf, — so dass man hier zu dem ganz bestimmten Eindruck einer schichtweisen Nebeneinanderlagerung von Nerven- und Gefässverzweigungen gelangt.

Die untersuchten Druckpunkte differiren, auch bei gleich starker Färbung, von einander bezüglich des Reichthums an Nervenfäden und der Extensität der Verbreitung derselben.

Temperaturpunkt.

Da sich wesentliche Unterschiede bei den Kältepunkten einerseits und den Wärmepunkten andererseits nicht ergeben haben, so werden dieselben bei der Beschreibung hier zusammengefasst.

Ebenso wie beim Druckpunkt steigt ein Nervenbündel in der Cutis schräg aufwärts und strebt direct der Stelle des Stichkanals zu — wie erwähnt, wurde bei den Temperaturpunkten meist ein senkrechter Einstich mit der Nadel angelegt. Dasselbe löst sich im Stratum papillare in eine Anzahl feiner markloser Fäden auf. Letztere kriechen nun nicht wie beim Druckpunkt unter dem Epithel weit hin, sondern steigen in kurzem Verlauf theils schräg, theils gerade gegen dasselbe auf, so dass sie eine Art Dolde bilden. Jedoch ist die Doldenform nicht durchgängig vorhanden, sondern häufig nur ein durch vielfache Ramification entstehendes, wenig ausgedehntes Geflecht feinster Fasern. Dasselbe entwickelt sich im Vergleich zu der Ramification der Drucknerven schon etwas tiefer in der Cutis. Die daraus hervorgehenden Fäden streben der Grenze des Stratum Malpighii zu und erreichen dieselbe zum Theil, während einzelne sich in der obersten Cutisschicht verlieren. Stets befindet sich die Ramification in auffallender unmittelbarer Nähe von Gefässen. Es muss hier eines Verhältnisses gedacht werden, welches nicht unter die Abbildungen mit aufgenommen worden ist. Zuweilen nämlich wurde dem Stichkanal entsprechend eine markhaltige Nervenfaser in enger Verbindung mit einem aufsteigenden Gefässlöffel angetroffen, welche in letzterem geradezu zu verschwinden schien, denn ein die Endigung der Fasern darstellendes Geflecht von Nervenfäden konnte nicht gesehen werden. In anderen Praeparaten, wo ebenfalls die Nervenfaser in dem Dunkel der Gefässe sich dem Blick

entzog, liessen sich vereinzelte Terminalfäden zwischen der Capillarschlinge und der Oberhaut, bis an die unterste Zellenschicht reichend, constatiren. In den beigegebenen Abbildungen endlich sieht man die aufsteigenden Nervenfasern ebenfalls in unmittelbarster Anlagerung an Gefässe, welche eine so innige ist, dass bei einigen ebenfalls der Eindruck entsteht, als ob die Nerven nicht weiter zu verfolgen seien, aber schliesslich erscheint doch, in der directen Verlängerung der Nervenfasern, die Endausbreitung der feinen Fäden, welche sich in einem engen Raum zwischen Capillaren und Stratum Malpighii gleichsam einkeilt. Nach diesen Erfahrungen muss ich die letztgeschilderten Kategorien für das vollkommenste Bild der Endausbreitung der Temperaturnerven halten und glauben, dass in den anderen Praeparaten aus irgend welchen Gründen die an das Epithel herangehenden Fäden nicht zur Beobachtung gelangten, und dass demnach der Eindruck, als verschwinden die Nerven ganz in den Gefässen, nicht den thatsächlichen Verhältnissen entspricht. Jedoch muss ich die Möglichkeit, dass sich einzelne der Fäden mit den Gefässen verbinden, anerkennen. Dieselben treten, wie aus den Abbildungen ersichtlich, zuweilen so unmittelbar an Capillaren heran, dass man ihren Zusammenhang mit mindestens demselben Recht behaupten könnte, mit welchem derjenige der sogenannten Epidermisnerven mit den cutanen Nerven behauptet worden ist. Allein man darf aus dem optischen Continuum nicht ohne weiteres auf ein reelles schliessen, weil einmal die Goldfärbung, dadurch, dass sie neben den Nerven auch die Gefässe betrifft, feine Nervenfädchen, welche vor oder hinter einem Gefäss fortlaufen, leicht verschleiern und so den Eindruck einer Verschmelzung hervorrufen kann, und weil wir es andererseits doch immer nur mit gewaltsam zerschnittenen Objecten zu thun haben, bei welchen man sich äussert vorsichtig darüber ausdrücken muss, ob ein Gebilde an einem gesehenen Punkte als solches aufhört oder sich noch irgendwohin fortsetzt. Dieselbe Betrachsung muss auch auf diejenigen Nervenfäden Anwendung finden, welche frei in der Cutis zu endigen scheinen. Man findet solche sowohl in Fällen, wo die Praeparate etwas schwach gefärbt sind und wo es daher sehr nahe liegt, eine ungenügende Goldwirkung auf die feinsten Fäden zu vermuthen, als auch in stark vergoldeten Praeparaten. Bei letzteren aber muss man sich ausser dem Umstand, dass der Zusammenhang der Gebilde durch das Zerschneiden gestört ist, noch das Launische der Goldfärbung überhaupt vergegenwärtigen, um zu dem Resumé zu gelangen, dass auf frei in der Cutis endigende Nerven auf Grund dieser Praeparate immer noch nicht mit voller Sicherheit geschlossen werden kann. Ich möchte daher die Beschreibung der Endausbreitung der Temperaturnerven dahin praecisiren: Die Ramification der Temperaturnervenenden greift in unmittelbarer Nähe von besonders reichlichen und starken

Gefässbildungen Platz und keilt sich zwischen diese und der Oberhaut ein; die aus der Ramification hervorgehenden feinen Nervenfäden streben der Cutisgrenze zu, an welcher sie sich auf einem relativ wenig ausgedehnten Raum verbreiten; einzelne derselben jedoch scheinen an Gefässe heranzutreten, andere in der Cutis frei zu endigen, ohne dass die Frage, ob dies dem thatsächlichen Verhalten entspricht, bis jetzt als gelöst betrachtet werden kann. In einem der Praeparate erreichen die Nervenfäden die Epidermis nicht, sondern endigen an der Einsenkung eines Haarbalges (Fig. 16). Die Beziehung sowohl der Temperatur- wie der Druckpunkte zu den Haaren ist stets von mir hervorgehoben worden und hat sich bei der mikroskopischen Untersuchung wieder unzweifelhaft ergeben. Sehr häufig ist die Endausbreitung in grösster Nähe an der Oeffnung des Haarbalgtrichters.

Die Endausbreitung der Temperaturnerven zeigt im Vergleich zu derjenigen der Drucknerven viel zartere und kürzere Nervenfäden, und auch die Anzahl der letzteren ist im Allgemeinen geringer. Auch das zum Sinnespunkt aufsteigende Nervenbündel ist bei den Druckpunkten stärker. Dieser Umstand, sowie die vorerwähnte dichte Vereinigung mit Gefässen, welche die Endausbreitung verdecken, machen die Untersuchung der Temperaturpunkte ganz besonders schwierig, so dass man befriedigende Praeparate nur unter besonders glücklichen Umständen bekommt. Vielfach übrigens waren anscheinend noch viel feinere Ramificationen vorhanden, welche jedoch mir nicht sicher genug vorkamen, um sie zu zeichnen. Die Möglichkeit einer Verwechselung mit tingirten Ausläufern von Bindegewebszellen, elastischen Fasern u. s. w. liegt leider bei Goldpraeparaten immer vor und gebietet der Interpretation ein frühes Halt.

Beziehung der Druck- und Temperaturpunkte zur Innervationsebene.

Fassen wir die Befunde bei den Druckpunkten einerseits und den Temperaturpunkten andererseits zusammen, so hat sich ergeben, dass hier wie da Nervenfasern gegen den Sinnespunkt hin in der Cutis aufsteigen und sich subepithelial verbreiten, dass aber die Art und Weise der Verbreitung gewisse Unterschiede zeigt. Die Herkunft dieser einzelnen aufsteigenden Nervenfasern bez. -Bündel nun ergiebt sich aus dem, was über die Innervationsebene vorausgeschickt worden ist. Es war dort gesagt, dass mit den grösseren Gefässen zugleich Bündel von Nervenfasern aus der Tiefe der Cutis emporsteigen, sich mit den Gefässen gleichzeitig verzweigen und in einer durch die Sinnespunktkette gehenden Ebene verbreiten. Diese einzelnen Nervenzweige nun, welche die Innervationsebene ausmachen, sind die zu den Sinnespunkten aufsteigenden Fasern. Sie haben

in ihrer Gesammtheit eine fächerartige Anordnung; die einen steigen ziemlich senkrecht, die anderen mehr oder weniger schräg empor, die äussersten gehen eine Strecke lang fast parallel zur oberen Cutisgrenze unter derselben hin, um schliesslich ihr Ziel zu erreichen. So erklären sich die verschiedenartigen Richtungen, in welchen wir auf den Temperaturpunktabbildungen die zuführenden Nerven gegen ihr Ziel lossteuern sehen. In einer derselben (Fig. 20) ist der Zusammenhang des zum Sinnespunkt verlaufenden Nerven mit dem die Innervationsebene bildenden Nervenbaum deutlich ersichtlich.

Die in eine solche Innervationsebene eintretenden Nerven sind nicht von einer Qualität, sondern gemischter Natur. Es finden sich häufig in einer Temperaturpunktkette auch Druckpunkte. Ich habe einen Theil einer solchen Kette exstirpirt und ebenfalls ein gemeinsames Nervenbündel in der Tiefe gefunden, welches sich in der geschilderten Weise verzweigte. Es fragt sich nun, ob die je zu einem Sinnespunkt verlaufenden Abzweigungen einfacher Qualität sind, und diese Frage steht zugleich im innigsten Connex mit der anderen, woher nun eigentlich die Nerven für die zwischen den Punkten gelegene Haut kommen. Zur Erledigung derselben ist es nothwendig, die Befunde an der letzteren zu betrachten.

Befunde an der zwischen den Sinnespunkten gelegenen Haut.

Diejenigen Schnitte, welche dem Sinnespunkt nicht entsprechen, enthielten eine Nervenanhäufung, wie sie dort gefunden war, nie; dieselbe war in jedem zerlegten Stück nur einmal vorhanden. Sie zeigten markhaltige Nervenfasern nur vereinzelt, unter dem Cutiscontur hinziehend. ,Etwas häufiger fanden sich verstreute marklose Fäden, welche in den Papillen, oft mit Capillaren zusammen, hochsteigen oder auch an den Einsenkungen des Stratum Malpighii der untersten Zellenreihe zustreben. Hin und wieder sieht man auch unter dem Epithel hinkriechende feine Nervenfasern, welche Fortsätze von der beschriebenen Art nach oben schicken. Im Ganzen ist die Anordnung der Nerven hier eine ähnliche wie an den Druckpunkten, nur dass sie ungleich spärlicher sind. Das also sind die Nerven der punktlosen Haut, welche ich im Gegensatz zu den specifischen Drucknerven als Gefühlsnerven bezeichnet habe und welche jenes matte und dumpfe Berührungs- und Schmerzgefühl leiten, aber kein Gefühl der Druckstärke und keine Ortsempfindung. Sie machen das wahre Continuum der empfindenden Hautfläche aus, wie denn auch die subepithelialen Fädchen sich weit verstreut finden.

Bei dem vereinzelten Auftreten dieser Nervenfäden war es nicht möglich ihre Herkunft zu constatiren. Es ist nun wohl ganz sicher, dass sie ebenfalls aus der Innervationsebene entstammen und es handelt sich also



nur darum, ob sie mit den am Sinnespunkt aufsteigenden Nerven zusammenhängen oder besondere, unmittelbar aus dem Nervenbaum hervorgehende, zuleitende Nervenfasern besitzen. Ich glaube, dass beides zutrifft, und kann wenigstens das erstere sicher behaupten. Denn man sieht bei den Druckpunkten von der Nervenanhäufung her vereinzelte Fäden unter dem Epithel fortlaufen, welche sich so weit von dem Druckpunkt entfernen, dass man sie lediglich als Nerven der punktlosen Haut auffassen kann. Ob auch das zum Temperaturpunkt aufsteigende Bündel nebenbei Gefühlsnerven enthält, darüber habe ich mir kein sicheres Urtheil bilden können, jedoch habe ich feststellen können, dass bis dicht an das Stratum papillare heran Temperatur- und Drucknerven bez. Temperatur- und Gefühlsnerven gemeinsam verlaufen können. So gehört in der Abbildung 20 der horizontal weiter ziehende Nerv wahrscheinlich der Druckqualität an, weil nach der vor der Exstirpation gemachten Notiz dicht oberhalb des Temperaturpunktes ein Druckpunkt an das zu exstirpirende Hautstückchen grenzte, welcher derselben Punktkette angehörte und zu welchem anscheinend der vorliegende Nerv sich hinbegiebt. Ob von dem Nervenbaum sich Fasern direct abzweigen, welche lediglich zur punktlosen Haut sich begeben, dürfte schwer zu erweisen sein; jedoch ist es wahrscheinlich, dass dies vorkommt, besonders dort, wo die Sinnespunkte relativ spärlich gesät sind. Jedenfalls aber bezieht die gesammte zwischen den Punkten gelegene Haut ihren Bedarf ebenfalls aus den Innervationsebenen der Punktketten und dieselben sind daher nicht bloss als die bedingende Basis der Sinnespunkte, sondern als wahres Gerippe der gesammten Hautinnervation anzusehen. Die für die punktlose Haut bestimmten Fasern müssen natürlich zum grössten Theil die Innervationsebene verlassen und nach den verschiedensten Richtungen abbiegen, — ein für die Beobachtung derselben sehr erschwerendes Moment, welches schon bei der Behandlung der Druckpunkte angedeutet worden war. Es ist schwer zu sagen, in welcher Tiefe der Cutis dieses Abbiegen erfolgt, jedoch muss man sich nach dem ganzen Typus der Nervenverbreitung und speciell in Anbetracht der von den Druckpunkten aus weithin verlaufenden subepithelialen Fäden die Vorstellung machen, dass hauptsächlich in den obersten Cutisschichten die Abzweigung der Gefühlsnerven vor sich geht. Wahrscheinlich sind bis zum Stratum papillare alle aufsteigenden Nerven gemischter Natur und erst dicht unter dem Epithel sind wir berechtigt, an einer bestimmten Stelle die vorliegenden Nervenfasern als von einer Qualität anzusprechen.

Meine Anschauung über die differentielle Art der Endausbreitung bei Temperatur- und bei Drucknerven stützt sich natürlich nicht bloss auf die wenigen in den Abbildungen wiedergegebenen Praeparate, und auch nicht bloss auf die überhaupt als gelungen zu bezeichnenden Praeparate, sondern in fast sämmtlichen kann die Wiederkehr des beschriebenen Verhältnisses beobachtet

werden. Bei der Art der Ausbreitung in nahezu einer Ebene ist es natürlich immer eine Glückssache dieselbe aufzurollen, und viele Praeparate sind in dieser Hinsicht vergeblich gewesen. Schon eine geringe Abweichung der Schnittführung von der richtigen Ebene — und solche sind bei aller Schärfe der Bestimmung in der Mehrzahl — producirt Schrägschnitte, auf denen die Nerven in Fragmenten erscheinen. Dazu kommt, dass dieselben schief aufsteigen, weshalb die Verticalschnitte unter allen Umständen zerstückelnd wirken. — Uebrigens sind aber Verticalschnitte immer noch das praktischste, denn wenn man sich darauf einlässt, die Schnitte schief durch die Haut zu legen, was technisch schon ungemeine Schwierigkeiten macht, so bekommt man nach meinen Erfahrungen ganz unsichere Praeparate. — Demnach erhält man bei vielen Stücken keine ideale Endausbreitung, sondern in mehreren benachbarten Schnitten eine Anzahl von Nervenfäden, welche man, wenn man bessere Bilder kennt, mit Hülfe der ebenfalls zerschnittenen Gefässe zu einem Ganzen combiniren kann. Solche Praeparate sind nicht geeignet, demonstrirt zu werden, wohl aber allenfalls, die gewonnene Ueberzeugung zu festigen.

Letzte Endigung des einzelnen Nervenfadens.

Es ist im Vorhergehenden hauptsächlich nur die Endausbreitung der Nerven berücksichtigt worden, und es erübrigt nun weiter zu untersuchen, wie der einzelne Nervenfaden endigt. Wenn wir von der oben berührten Frage, ob die Temperaturnerven auch frei in der Cutis und an Blutgefässen endigen können, absehen, so hatte sich sowohl bei den Druck- wie bei den Temperaturpunkten ergeben, dass die Nervenfäden schliesslich bis an die unterste Zellenschicht dringen. Hier nun habe ich sie durchweg endigen sehen. Das Gewöhnliche ist, dass das Fädchen bis unmittelbar an die Zellen zu verfolgen ist und gewissermaassen an den Zellcontour stösst, hiermit aber einfach aufhört. Zuweilen ist an diesem Ende eine knöpfchenförmige Verdickung zu bemerken.. Es muss hierbei darauf aufmerksam gemacht werden, dass durch das Vorliegen eines Kernes oder anderen Gebildes vor dem Nervenende der Anschein einer knopfförmigen Endigung producirt werden kann. Man kann nicht selten die Wahrnehmung machen, dass ein Nerv knopfförmig zu endigen scheint, dass aber bei Verschiebung der Mikrometerschraube der feine Faden sich über das Knöpfchen hinaus forterstreckt und spitz endigt. In anderen Fällen konnte eine deutliche einfache Zuspitzung beobachtet werden; hiervon giebt Figg. 26 und 28 Beispiele. Mehrfach wurde wahrgenommen, dass das Nervenende, an die unterste Zellenreihe herantretend, zwischen zwei der Palissadenzellen eine kurze Strecke einzudringen scheint; jedoch beträgt diese Strecke nur einen

gewissen Theil einer Zellenlänge (Figg. 8, 26, 27). Unter Umständen kann der Anschein hervorgebracht werden, als ob das Nervenende weiter in das Epithel vordringt; ein solcher Fall ist in Fig. 28 dargestellt. Das zweifellos als Nerv anzusprechende fadenförmige Gebilde zieht zwischen zwei Zellreihen hinein, welche auf den ersten Blick als erste und zweite Zellenschicht imponiren. Jedoch ergiebt die nähere Untersuchung, dass die unteren Zellen tiefer liegen, dass also gleichsam ein treppenförmiges Verhältniss vorliegt. Man muss sich vorstellen, dass der Schnitt gerade den schräg abfallenden Theil einer Papille getroffen hat, welcher eine dachziegelförmige Anordnung der bedeckenden Zellenlagen zeigt. Demgemäss geht das Nervenende in Wirklichkeit nicht durch die unterste Zellenreihe hindurch, sondern an die Grenze zweier unterster Zellenreihen. — Genau dieselben Verhältnisse der Endigung zeigen auch die einzelnen Fasern der Gefühlsnerven, d. h. die in der punktlosen Haut verstreuten Nerven.

Es ist im Vorangehenden implicite gesagt, dass ich mich weder von der Existenz von Nervenenden innerhalb des Epithels überhaupt, noch von einem Endigen mit oder gar in einer Zelle habe überzeugen können. Dieser Punkt ist gegenwärtig so wichtig, dass er einer ausführlicheren Besprechung hier bedarf.

Epidermisnerven.

Die intraepidermidalen Nerven wurden bekanntlich zuerst von Langerhans beschrieben. Sie sollten mit verästigten Zellen zusammenhängen. Letztere, von Einigen bestätigt (Eberth, Elin) von Anderen als Wanderzellen, Pigmentzellen u. d. m. erklärt, wurden später von Langerhans selbst zurückgenommen[1] und zwar auf Grund von Ranvier's Praeparaten. Jedoch hat die Mittheilung von dem Hineingehen markloser Nervenfäden in die Oberhaut so gut wie allgemeine Anerkennung und speciell durch Ranvier die gewichtigste Autorität gefunden. Mehr Widerspruch wurde gegen die weiteren Ausführungen Anderer (Unna) erhoben, welche eine directe Verbindung der letzten Nervenenden mit den Zellen des Rete Malpighii nachzuweisen sich bemühten. So möchte im Grossen und Ganzen die Ranvier'sche Schilderung der Epidermisnerven die vertretenste sein und gewissermaassen die öffentliche Meinung bilden.

Ich habe nun in meinen Praeparaten diese sogenannten Nervenfäden innerhalb der Epidermis, genau wie sie Ranvier beschreibt, in grosser Zahl gesehen. Als ein Beispiel diene Fig. 22. Es ist gar kein Zweifel, dass einzelne von diesen Gebilden äusserst verlockend sind, um als Nerven interpretirt zu werden, besonders wenn ein Zusammenhang mit subepithelialen

[1] *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. XX.

Nerven vorhanden zu sein scheint, wie es z. B. in dem abgebildeten Praeparat der Fall ist.[1] Wenn man nun aber ohne jede Voreingenommenheit an die Frage herantritt, ob die im Praeparat zu sehenden dunklen Fäden Nerven sind oder etwas anderes, so macht man die Wahrnehmung, dass die objectiven Beweisgründe doch manches Bedenkliche haben und dass die Vorliebe für eine bestimmte Idee, durch histologische Analogien angeregt, auf diesem Gebiete eine grosse Rolle spielt. Die Gründe für den nervösen Charakter der dunklen Linien sind hauptsächlich drei, und sie pflegen sich in dem Gedankengange des Forschenden in einer gewissen zeitlichen Folge abzuspielen. Erstlich nämlich fallen diese durch die Epidermis ziehenden schwarzen Linien überhaupt als merkwürdige Gebilde auf, welche durch ihre Gestalt und ihren Verlauf den sonstigen Elementen der Epidermis so fremdartig sind, dass, wenn man sie überhaupt als praeformirte Bildungen auffassen will, man sie nur als Nerven auffassen kann. — Nachdem man nun so schon die Vorstellung von ihrem nervösen Charakter concipirt hat, erinnert man sich zweitens, dass sie eine ausgesprochene Affinität für Goldfärbung haben, gerade wie es von Nervenfasern bekannt ist. Und drittens findet man nun Stellen in den Praeparaten, wo die dunklen Linien in Verbindung zu sein scheinen mit den Nerven der Cutis, welche unmittelbar unter dem Epithel an die Grenze des letzteren herangehen.

Der erste von diesen Gründen bildet die Pointe, denn bei der Annahme praeformirter Gebilde ist nur die Interpretation als Nerven möglich. Aber gegen diese Annahme lässt sich auch verschiedenes vorbringen. W. Wolff hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass durch die Aufeinanderfolge von Quellung (durch Säuren) und Schrumpfung des Gewebes Risse in der Epidermis entstehen müssen, welche sich in Form dieser dunklen Linien präsentiren. Ich möchte dem hinzufügen, dass man sich auch schon aus dem natürlichen Bau der Oberhaut die Entstehung solcher Linien erklären kann. Die intercellulare Kittsubstanz resp. die in den freien Räumen zwischen den Stachelzellen vorhandene Lymphe wird sicherlich vom Gold gefärbt, denn man sieht die Zellcontouren in Goldpraeparaten gedunkelt. Denkt man sich nun zwei in ihrem natürlichen Verhältniss aufeinander liegende Zellenlagen, so werden die Zellen der Lage *b* häufig so mit einander zusammenstossen, dass ihre gemeinschaftliche Grenze vielleicht gerade auf der Mitte einer Zelle der Lage *a* liegt, d. h. es werden oft drei Zellen der Lagen *a* und *b* zusammenstossen. An der Stelle, wo dies geschieht, muss sich nothwendig ein feiner länglicher Niederschlag bilden. Wenn nun durch den Schnitt die Lage *b* von der Lage *a* getrennt wird, so kann der Nieder-

[1] Das in Fig. 8 gezeichnete Verhältniss erinnert wieder mehr an die Langerhans'sche Endigung.



schlag entweder an der Lage *b* bleiben — und dann sieht man den gemeinschaftlichen Contour stärker gefärbt, oder an der Lage *a*, und in letzterem Falle wird man einen dunklen Strich gerade über die Mitte der Zelle verlaufen sehen. Setzen sich solche Striche mehrfach zusammen und wechseln ab mit gedunkelten Zellconturen, so muss dadurch ein ganz entsprechendes Bild entstehen, als bei den für Epidermisnerven gehaltenen Linien. Die Erscheinung, dass diese Linien zum Theil gerade über die Zellen hinweggehen, würde sich hiernach also dadurch erklären, dass je auf der betreffenden Zelle die gefärbte Kante von den auf ihr zusammenstossenden Zellen stehen geblieben ist.

Sind gegen die Annahme der praeformirten Bildung dieser Dinge diese Einwürfe zu erheben, so kann auch die starke Reaction derselben auf Gold ihnen ihre nervöse Natur nicht zurückgeben. Es kann nichts eine grössere Affinität zum Gold zeigen als die untersten Zellschichten des Rete Malpighii. Ich habe schon oben erwähnt, dass nach meinen Wahrnehmungen die Dunkelfärbung des Rete und die der feinsten Nervenfäden im Verhältniss zu einander stehen, sodass bei einer geringen Betheiligung des ersteren die Nervenfäden nicht völlig erkennbar sind, andererseits bei vollendeter Färbung der letzteren das dunkle Rete der Beobachtung hinderlich ist. Auch Langerhans[1] giebt an: „So leicht sich im Allgemeinen der Eintritt von Nervenfasern in das Rete Malpighii feststellen lässt, so schwer ist die Verfolgung derselben in dieser Schicht“. Ich habe mich bei derartigen dunklen Linien, welche als Epidermisnerven angesprochen werden durften, oft überzeugen können, dass bei starker Vergrösserung (Immersion) und vorsichtigem Gebrauch der Mikrometerschraube ein seitliches Verlaufen des fraglichen Nervenfadens in Zellcontouren und continuirliche Verschmelzung mit letzteren unter allmählicher Aufhellung der Färbung nach den oberflächlicheren Schichten des Rete hin zu constatiren war. Es geht daraus hervor, wie wenig ein Gegensatz der Reaction der Zellcontouren zu derjenigen der Nervensubstanz construirt werden kann. Freilich, wenn man gar keine Zellcontouren zeichnet, wie wir mehrfach bei den auf diesen Gegenstand gerichteten Publicationen finden, so gewinnen die Bilder ungemein an Klarheit; es fragt sich nur, in wie weit diese Klarheit auf ein natürliches Licht zurückzuführen ist.

Was endlich den Zusammenhang der Epidermisfäden mit subepithelialen Nerven anbelangt, so ist nicht viel darauf zu geben, dass man vereinzelt einen continuirlichen Uebergang der dunklen Linie im Epithel in einen Nervenfaden, welcher bis an die Grenze desselben vordringt, sieht. Bei der

[1] Ueber die Nervenenden der menschlichen Haut. Virchow's *Archiv*. 1868. Bd. XLIV.



colossalen Menge dieser Epidermisfäden, welche nur immer durch einige Zellenbreiten von einander abstehen, ist es nicht nur erklärlich, sondern nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit durchaus nothwendig, dass zuweilen einer von ihnen mit einem subepithelialen Nerven zusammentrifft. Und vereinzelt findet sich dies in der That bloss, wie ein Blick auf Ranvier's eigene Abbildung lehrt. Auch Wolff hat dies Moment hervorgehoben. Aber abgesehen von diesem numerischen Verhältniss ist es auch dem Wesen der Sache nach gar nicht nothwendig, dass die optisch im Zusammenhange mit den cutanen Nerven erscheinenden Linien des Epithels wirkliche Fortsetzungen derselben bedeuten. Denn einerseits dringen die cutanen Nerven sicherlich bis unmittelbar an die Zellen heran, ja, keilen sich sogar zwischen zwei Zellen ein, wie oben ausgeführt — andererseits werden die tiefsten Zellenlagen durch das Gold intensiv gefärbt, und besonders die Zellcontouren. Dadurch werden für die Construction optischer Continuitäten die bequemsten Verhältnisse geschaffen, und ich habe mich überzeugt, dass man in der That unter Umständen einen nachweisbaren subepithelialen Nervenfaden in nachweisbare Zellcontouren continuirlich verlaufen sehen kann. So glaubte auch Langerhans den Zusammenhang seiner „Zellen“ mit nervösen Fasern in einigen Fällen gesehen zu haben, während er später, auf Ranvier's Praeparate hin, gesteht, dass seine Zellen „jedenfalls nicht für die Nervenendigung wesentlich sind.“ Ich führe dies nur als ein Beispiel dafür an, dass die Beurtheilung des wirklichen Zusammenhanges nach Art der Praeparation und des Gewebes hier leicht irre gehen kann.

Es kann hier eingeworfen werden, dass die als Epidermisnerven gedeuteten Linien sich in der That durch ihre Färbung unterscheiden von einfachen Zellcontouren. Allein es folgt daraus immer noch nicht ihr nervöser Charakter, man kann sich auch sonst Unterschiede denken, welche das besondere Hervortreten gewisser Zellgrenzen bedingen. Der durch die unebene Beschaffenheit des Stratum papillare bedingte Wechsel der Druck- und Spannungsverhältnisse im Epidermisgewebe kann sich gegenüber der Goldimpraegnation und den sonstigen Veränderungen, welche die Praeparation setzt, sehr wohl in der angeführten Richtung geltend machen. Man ist deshalb nicht berechtigt, aus der stärkeren Tinction eine specifische zu machen; man würde dazu erst berechtigt sein, wenn eine Homogeneität in der Beschaffenheit und dem Verhalten des Epidermisgewebes, speciell in Bezug auf die Einflüsse der Praeparation, erwiesen wäre.

Ich bin mir sehr wohl bewusst, dass alle vorstehenden Bemerkungen nur im Stande sind, die Vorstellung zu erwecken, dass die in der Epidermis durch Gold hervortretenden Linien auch etwas anderes sein können als Nerven, — dass sie aber keineswegs beweisen, dass diese Dinge keine Nerven sind.

Ich würde es nicht unternehmen, eine durch vorzügliche Autoritäten inaugurirte Sache anzuzweifeln, wenn ich nicht auch nach der positiven Seite hin die Ueberzeugung von der Nichtexistenz von Epidermisnerven gewonnen hätte. Dieselbe stützt sich auf folgende zwei Momente:

Erstens habe ich von der überwiegenden Mehrzahl der an das Epithel herantretenden Nerven den Eindruck gewonnen, dass sie eben da aufhörten, und zwar aus einem doppelten Grunde. Zunächst nämlich waren die Fäden eben nicht weiter zu verfolgen, als bis zur ersten Zellenreihe. Es wäre doch höchst merkwürdig, dass, wenn die Fortsetzung in's Epithel wirklich zu Recht bestände, bei allen den vielen, noch dazu im Längsschnitt getroffenen, bis an das Epithel verfolgten Nerven gerade der in letzterer eintretende Abschnitt durch den Schnitt abgetrennt oder sonstwie vernichtet worden wäre. Man könnte doch billiger Weise erwarten, dass man einmal auf eine unzweifelhafte directe Fortsetzung gestossen wäre. Es liesse sich das gegentheilige Verhalten allenfalls erklären, wenn an der Epithelgrenze die Nervenfasern ihre Richtung plötzlich änderten und in einem mehr schiefen Winkel die Epidermis durchdrängen. Jedoch ist diese Vorstellung doch zweifellos eine gekünstelte. — Aber nicht nur, dass die Nervenfaser nicht weiter zu verfolgen war, sondern das gesehene Ende derselben machte auch sehr häufig den Eindruck der wirklichen Endigung. Es war dies der Fall bei denjenigen Nervenfäden, welche mit einer kleinen Anschwellung, sowie bei denjenigen, welche mit einer deutlichen Zuspitzung endigten. Die knöpfchenartige Anschwellung legte sich hart an die Basis der untersten Zellen an, eine Fortsetzung des Fadens über die Anschwellung hinaus war nicht zu constatiren, das Knöpfchen gab ihm vielmehr einen Abschluss. Da es sich um marklose Fasern handelt, so kann man die Anschwellung nicht auf den künstlichen Querschnitt des Nerven beziehen; es ist vielmehr wahrscheinlich, dass es sich hier um ein reelles, der sichtbaren Erscheinung entsprechendes Gebilde handelt. Was die Zuspitzung betrifft, so liegt es ja sehr nahe zu sagen. dass die Fortsetzung abgeschnitten oder wegen ihrer Feinheit nicht zu sehen war. Jedoch ist dies wenig wahrscheinlich. Wir sind gewohnt, eine Verdünnung der Nerven entweder auf Verlust des Markes oder auf Erschöpfung durch Ramification zu beziehen. Wenn beides nicht vorliegt, so muss man wohl zunächst an ein wirkliches Endigen des Nerven denken. Fig. 28 zeigt eine derartige spitze Endigung und ich meine, dass man sich beim Betrachten derselben des Eindrucks, dass der Nerv hier wirklich aufhört, nicht erwehren kann.

Jedoch kann man auch nicht selten Fälle beobachten, wo der an das Epithel tretende Nerv nicht den Eindruck macht, als endige er an diesem Punkte, nämlich dann, wenn er hart an der Epithelgrenze stumpf, wie abgeschnitten, aufhört. Aber auch hierin ist noch kein Moment gelegen,

welches für eine Fortsetzung in's Epithel spräche; vielmehr möchte ich glauben, dass der Nerv hier eine Biegung macht, um auf der Oberfläche der Cutis unmittelbar unter der Epidermis hin weiter zu verlaufen. Gewisse Längsschnittbilder zeigen, dass Nerven auf eine relativ grosse Strecke unmittelbar unter dem Stratum Malpighii sich ausbreiten. Es liegt deshalb die Vorstellung nicht fern, dass die Nerven sich geradezu an der Oberfläche der Cutis, nur vom Epithel bedeckt, ausbreiten und verzweigen. Ich habe versucht, diesem Verhältniss mittels Flachschnitten näher zu kommen, jedoch ist es mir nicht gelungen, gute Serienschnitte parallel der Hautoberfläche zu erhalten; das mit Gold impraegnirte Hautgewebe, speciell Epidermisgewebe, bietet dem Messer einen zu bedeutenden Widerstand dar.

Das zweite Moment nun, welches gegen die Auffassung als Epidermisnerven spricht, ist das Verhältniss der Fäden zu den Sinnespunkten, oder correcter: das Fehlen eines Verhältnisses zu den Sinnespunkten. Man muss doch diesen Epidermisnerven irgend eine Function vindiciren, und wir sind ja in dieser Beziehung nicht mehr auf ein blosses Umhertappen angewiesen, sondern haben bestimmte Anhaltspunkte. Haben jene mit den höheren cutanen Sinnesqualitäten, Druck-, Kälte- oder Wärmesinn etwas zu thun, so müssen sie sich der Localisation dieser Sinne entsprechend entweder bloss oder wenigstens vorwiegend an diesen Punkten finden. Bei der Durchforschung meiner Praeparate bezüglich dieser Angelegenheit bin ich nun zu dem Resultat gekommen, dass die als Epidermisnerven anzusprechenden Gebilde in den dem Sinnespunkt entsprechenden Schnitten absolut nicht häufiger sind als in anderen. Dass ich mir dabei über das, was die Autoren als intraepidermidale Nerven anzusehen pflegen, klar gewesen bin, dürfte aus der beigegebenen Fig. 22 hervorgehen. Wir müssen daraus den Schluss ziehen, dass die fraglichen Gebilde mit dem Druck- oder Temperatursinn jedenfalls nichts zu thun haben. Sie würden demnächst für den Gemeingefühlssinn zu requiriren sein. Allein soll man sich vorstellen, dass dieser in seinen Qualitäten und Leistungen so weit inferiore Sinn mit einem so colossalen Reichthum an percipirenden Elementen bedacht worden sei, während die höheren cutanen Sinne über eine im Vergleich hierzu nur bescheidene Armatur verfügen? Es sind drei Umstände namhaft zu machen, welche hiergegen sprechen. Einmal nämlich sollte man, selbst wenn die Epidermisnerven lediglich dem Gefühlssinn zugetheilt würden, erwarten, dass dieselben eine gewisse Beziehung zu den Innervationsebenen der Drucknerven erkennen lassen. Denn die Gefühlsnerven gehen, wie oben erörtert, sehr wahrscheinlich aus den Innervationsebenen und vornehmlich denjenigen der Drucknerven hervor. Diese Beziehung müsste sich in einer grösseren Häufigkeit der Epidermisnerven innerhalb der die Innervationsebene darstellenden Schnitte, sowie in deren nächster Nähe äussern. Ein solches

Verhalten aber habe ich nicht constatiren können. — Weiter ist es ganz unverständlich, dass die Endigungen der Drucknerven, welche weit feinere Reize percipiren als die Gefühlsnerven, nicht so weit der Oberfläche der Haut entgegen vordringen sollten als diejenigen der letzteren. Nun fehlen ja allerdings die Epidermisnerven keineswegs an den Druckpunkten resp. den Innervationsebenen der Drucknerven, aber sie finden sich nicht häufiger als in der punktlosen Haut und dies steht mit der exquisiten Concentration subepithelialer Nerven an den Druckpunkten in einem solchen Widerspruch, dass man die epitheliale Endigung für die specifischen Drucknerven nicht in Anspruch nehmen kann. — Drittens endlich steht an der punktlosen Haut der Reichthum an Epidermisnerven in keinem Verhältniss zu der Spärlichkeit der subepithelialen Nerven. Man fragt sich erstaunt, woher diese Menge von Nervenfäden stammen soll, und mit um so grösserem Recht, als man auf den Serienschnitten doch über das vorhandene cutane Nervenmaterial sich recht gut ein Urtheil bilden kann. Man könnte hier einwerfen, dass die in der Epidermis aufsteigenden Nerven im Längsschnitt, die cutanen vielfach im Quer- oder Schiefschnitt erscheinen — wie oben auseinandergesetzt, ist dies auch in Längsschnittpraeparaten der Fall, da die Nerven zum Theil aus der Innervationsebene abbiegen müssen — allein es lässt sich dem entgegenhalten, dass das letzte subepitheliale Stück der Nervenfasern im Allgemeinen in senkrecht aufwärts gerichtetem Verlauf die Epithelgrenze zu erreichen pflegt und daher auch auf anderen als Längsschnitten zu sehen ist. Man hat die Untersuchung der Epidermisnerven immer an sehr nervenreichen Hautpartieen vorgenommen, Haut der Finger u. d. m., und ist wohl deshalb nicht in die Verlegenheit gekommen, das Missverhältniss zwischen den in der Epidermis und den in der Cutis sichtbaren Nerven zu constatiren — welches auch bei noch so weitgehend gedachter Theilung der Nervenfasern nicht wegzuschaffen ist. Gerade die Untersuchung an Schnittserien ist hierbei wesentlich; begnügt man sich mit der Betrachtung beliebiger einzelner Schnitte, welche gerade recht demonstrabel sind, so wird ein erwünschter Zufall leicht solche in die Hände spielen, bei welchen subepitheliale und epitheliale Nerven in einem recht passenden Verhältniss zu einander stehen. Dazu kommt, dass selbst die spärlichen subepithelialen Fasern der Gefühlsnerven oft eine, in dem oben geschilderten Sinne charakterisirte Endigung an der Grenze des Epithels erkennen lassen.

Man würde den Thatsachen Gewalt anthun müssen, wenn man hiernach noch die Epidermisnerven dem Gemeingefühlssinn zutheilen wollte. Somit finden sie in der Kategorie der empfindenden Nerven überhaupt keinen Platz, und wenn man sie retten will, könnte man sie höchstens als trophische auffassen; diesen Charakter würde aber ihr weites Vordringen über

die als Matrix der Oberhaut anzusehende Zellschicht hinaus ebenfalls recht wenig entsprechen.

Resumire ich das vorher Gesagte, so habe ich also einerseits Nerven in der Epidermis nicht gesehen, andererseits mich von der Beweiskraft der von den Autoren beschriebenen Epidermisnerven nicht überzeugen können. Damit ist aber nicht gesagt, dass ich die Möglichkeit der intraepidermidalen Endigung unbedingt in Abrede stelle. Bei der Unzulänglichkeit unserer sämmtlichen Methoden, um Nervenendigungen sichtbar zu machen, kann ein Urtheil zur Zeit überhaupt nicht ausgesprochen werden. Es ist sehr bedauerlich, dass der grossartige Fortschritt, welcher durch die Ehrlich'sche Färbungsmethode in vivo gewonnen ist, bei der Art meiner Untersuchung nicht hat verwerthet werden können. Obwohl das Hineinragen von Nerven in die Oberhaut, angesichts der fortwährenden Regeneration der Zellen und der schweren Insulte, welche die exponirten Nervenenden treffen müssten, schwierig vorzustellen ist, so würden eclatante histologische Beweise uns auch mit dieser Vorstellung befreunden. Allein den bis jetzt beschriebenen Epidermisnerven kommt eine solche Beweiskraft nicht zu.

Die physiologische Bedeutung der Endausbreitung des Nerven im Verhältniss zur letzten Endigung.

Es erweckt ein unbefriedigendes Gefühl, dass die Endigungen bei den verschiedenen Qualitäten der Nerven gleichartig sich ergeben haben — wenn wir von dem möglichen Freiendigen der Temperaturnerven und den unwahrscheinlichen Endigungen derselben an Gefässen hier absehen. Denn man erwartet eine Anpassung der Endigungen an die adaequaten Reize und demzufolge bei einer Verschiedenheit letzterer auch eine Verschiedenheit ersterer. Es ist möglich, dass noch irgend welche zarten Gebilde sich an den Endigungen speciell der Temperaturnerven, befinden, welche durch die eingreifende Praeparation zerstört werden. Im Uebrigen aber ist die Frage der Reizübertragung nicht mit der Frage nach der letzten Endigung des einzelnen Nervenfadens erschöpft. In der Histologie steht gewöhnlich die Morphologie der letzten Endigung im Vordergrunde des Interesses; jedoch kommt dem das physiologische Interesse nicht überall nach. Letzteres gipfelt im Nachweise des Endapparates. Die Endigung wird physiologisch von Bedeutung, sobald sie Endapparat wird. Nicht jede Endigung ist so aufzufassen. Es fördert z. B. das Verständniss der Function sehr wenig, ob ein einzelner Nervenfaden spitz oder mit einer kleinen Anschwellung endigt. Anders verhält es sich schon mit der cellulären Endigung. Findet man, dass ein Tastnerv an einer Zelle endigt und nennt diese nun „Tast-

zelle“, wie es geschehen ist, so ist diese Bezeichnung nicht einwandlos; denn sie besagt offenbar, dass die Zelle für das Tasten nothwendig sei und vindicirt ihr also eine Bedeutung für die Reizübertragung. Diese kann jedoch nicht in dem Umfange vorhanden sein, wie sie der Begriff des Endapparates mit sich bringt. Der mechanische Reiz erregt den Nerven direct, auch ohne reizvermittelnden Endapparat. Aber er trifft auch bei möglichster Begrenzung doch mit einer für den einzelnen Nervenfaden ungeheuren Breite auf, ungefähr wie der Hammer auf den Nagel. Die Endzelle würde nun hier höchstens die Stelle des Nagelkopfes vertreten, welcher den Nagel schützt, indem er Umknickungen, Verbiegungen desselben verhindert, und zugleich den Stoss auf die ganze Masse des Nagels überträgt und somit die Pulsion vermehrt. Eine eigentliche Umwandlung des materiellen Reizes in einen Nervenreiz, durch eine besondere Thätigkeit der terminalen Zelle, findet dabei nicht statt. Für die Temperaturnerven würde der Nachweis einer cellulären Endigung einen grösseren Werth haben, denn bei diesen postuliren wir thatsächlich reizvermittelnde Endapparate, und solche würden wir uns in der Form einfacher Zellen, welche gewisse Eigenschaften bezüglich der Temperaturveränderung haben müssten, allerdings vorstellen können. Aber wenn die Untersuchung zu greifbaren Endapparaten nicht führt, so ist die Discussion über den einzelnen Nervenfaden für die Physiologie steril. Eine fruchtbarere Aussicht eröffnet dann die Betrachtung der Endausbreitung, d. h. eines zusammengehörigen Complexes von Nervenendfäden. Es hat sich das nicht uninteressante Resultat ergeben, dass einem Sinnespunkt je ein Complex von Nervenendigungen entspricht. Was physiologisch als eine Einheit erscheint, stellt sich anatomisch als eine Mehrheit, ja Vielheit dar. Man betrachtet meist eine Nervenendigung als Basis für eine Empfindung. Hier liegt eine ganze Nervenramification vor, welche im Einklang agirt — und vielleicht agiren muss, soll die Erregung Schwellenwerth gewinnen. Dadurch gewinnt dieselbe ein höheres Interesse als das bloss anatomische der Nervenverbreitung, nämlich das einer functionellen Einheit, und man kann geradezu behaupten, das eines complexen Endapparates. Damit dürfte der oben ausgesprochene Satz, dass sich das physiologische Interesse nicht in der Frage nach der letzten Endigung des einzelnen Nervenelements erschöpft, gerechtfertigt sein.

Die Endausbreitung der specifischen Nerven an je einem Sinnespunkt, als ein zu functioneller Einheit verbundener histologischer Complex betrachtet, hat Verschiedenheiten der Gestaltung bei den Druckpunkten einerseits und den Temperaturpunkten andererseits ergeben. An einem Druckpunkt findet sich die Haut von einer Anhäufung von Nervenfäden durchsetzt, welche in der subepithelialen Cutisschicht flach ausgebreitet daliegen und durch zahlreiche Aestchen ein relativ grosses Stück von Cutisoberfläche

innerviren. Wir können in dieser Form der Endausbreitung eine passende Vorrichtung zum Auffangen mechanischer Reize unschwer erkennen. Man hat mehrfach in sehr richtiger Weise Werth darauf gelegt, dass die Endapparate der zum Auffangen tactiler Reize bestimmten Nerven eine gewisse Vergrösserung der dem Reiz offerirten Fläche als eine Haupteigenschaft gewähren müssten. Man hat dies Erforderniss sowohl in Tastzellen wie in den Tastkörperchen erfüllt sehen wollen. Gehen wir nun einmal vom punktförmigen tactilen Reiz aus — punktförmig nicht im mathematischen, sondern im grobmechanischen Sinne —, so ergiebt sich ein ganz verschiedenes Verhältniss, je nachdem man diesen Reiz in seiner Beziehung zur Flächenausdehnung der Haut oder in derjenigen zum einzelnen Nervenende betrachtet. Gegenüber dem einzelnen Nervenende nämlich stellt auch der spitzeste Reiz immer noch ein Flächenstück dar und ebenso auch noch gegenüber den minimen flächenvergrössernden Endapparaten einer Tastzelle oder eines Tastkörperchens. Letztere sind immer noch punktförmiger als ein sogenannter punktförmiger Reiz. Man kann deshalb in dieser Art von Endapparaten nicht eine Vergrösserung der Wirkungsfläche des dem Reiz entgegengestellten Nervenendes erblicken, sondern, wie vorhin ausgeführt, lediglich eine dem Nerven selbst dienende Schutz- und Uebertragungsvorrichtung. Betrachtet man zweitens das Verhältniss des spitzen Reizes zur gesammten Hautfläche, so würde dies nichts besonderes bieten, wenn letztere ein nervöses und empfindendes Continuum wäre. Da aber die Innervation eine discontinuirliche ist, so wird es zum Spiel des Zufalls, ob ein punktförmiger Reiz auf innervirte Haut trifft oder nicht. Die Wahrscheinlichkeit nun, dass derselbe innervirte Haut tangirt, wird um so grösser, je grösser die jedesmalige Wirkungsfläche der discontinuirlich verstreuten Nerven ist. Angenommen, das je an einem Druckpunkt vorhandene Nervenbündel stiege einfach zur Oberfläche der Cutis empor und endigte hier seinem Querschnitt entsprechend, so wäre die Wahrscheinlichkeit, dass ein spitzer Reiz nun einmal gerade diesen Querschnitt träfe, eine sehr geringe. Durch die nachgewiesene flache Ausbreitung aber wird der Querschnitt und damit die zur Wirkung kommende Reizfläche ganz ungemein vergrössert. Die flache Ausbreitung stellt kleine empfindliche Flächenstücke her und arbeitet so der discontinuirlichen Innervation im Sinne eines empfindenden Continuums entgegen. Sie allein ist es, welche die oft gesuchte Flächenvergrösserung der Nervenenden herbeiführt, während die minimalen Vorrichtungen, welche an dem einzelnen Endfaden sich finden mögen oder wirklich finden, für diesen Zweck, dem Object gegenüber, gar nicht in Frage kommen. Somit repraesentirt die Endausbreitung der Drucknerven am Druckpunkt einen wahren Endapparat.

An einem Temperaturpunkt findet sich auf einen engen Raum zu-

sammengedrängt eine Anzahl von feinsten Nervenfäden, in unmittelbarster Nähe von Gefässen. — Die Art der Anordnung verräth gegenüber den Druckpunkten den Charakter extensiver Beschränkung; die Wirkung muss daher eine gegentheilige sein wie dort, d. h. für Druckreize ist diese Endausbreitung sehr wenig exponirt. — Der Umstand, dass auch hier ein Nervencomplex vorhanden ist für eine Empfindung von geradezu elementarer Einfachheit, denn eine solche ist doch die punktförmige Temperaturempfindung, deutet darauf, dass hier ebenfalls die Endausbreitung als Endapparat anzusehen ist. Man kann sich zwei verschiedene Vorstellungen über die Bedeutung dieser Endausbreitung machen; beide müssen aber davon ausgehen, dass es wohl zweifellos Dichtigkeitsveränderungen sind, welche, durch die Temperaturreize producirt, die Nerven erregen. Einmal nämlich kann man sich vorstellen, dass die Dichtigkeitsveränderung des Gewebes eine auf die Endausbreitung als solche sich erstreckende gemeinsame Wirkung hat, derart, dass etwa durch die dabei erfolgende Verschiebung der Fasern eine Erregung des Nerven zu Stande kommt. Jedoch ist dies unwahrscheinlich; und weit plausibler ist es, dass jeder einzelne der den Complex bildenden Nervenfäden durch das Verändern der Eigentemperatur für sich gereizt wird. Es könnte dies entweder so vor sich gehen, dass die Dichtigkeitsveränderung des umliegenden Gewebes auf den Nervenfaden erregend wirkt, oder so, dass das Ende der Nerven selbst die Dichtigkeitsveränderungen mitmacht oder endlich so, dass jeder Endfaden noch besondere Apparate besitzt, welche als Verbindungsglied den Temperaturreiz auf das Nervenende übertragen. — Wie dem auch sei, das Vorhandensein des Nervencomplexes spricht doch dafür, dass die Veränderung, welche jeden einzelnen der Fäden betrifft, eine zu geringfügige ist, um eine Nervenerregung herbeizuführen. Da sich aber die gleiche Veränderung zu gleicher Zeit bei einer Mehrheit von Nervenfäden geltend macht, so wird durch Summirung dieser kleinen Anstösse eine genügend erregende Wirkung erzielt. Würde an einem Temperaturpunkt nur *eine einzige* Nervenfaser endigen, so würde diese wahrscheinlich erst durch ganz erhebliche Temperaturschwankungen in einen erregten Zustand gelangen. Die Endausbreitung gewährt daher durch Aggregation der kleinsten Anstösse die Fähigkeit feinerer Empfindung. Somit wohnt auch ihr der Charakter eines *Endapparates* unzweifelhaft bei.

Verhältniss der Temperaturnerven zu den Gefässen.

Die auffallende Anlagerung der Temperaturnervenenden an Gefässen könnte Veranlassung geben zur Aufwerfung der Frage, ob die Gefässe etwa einen integrirenden Theil des Endapparates darstellen. Bei den bekannten

Beziehungen der Gefässcontraction und Gefässdilatation zur Abkühlung und Erwärmung liegt es nahe, den Bewegungen der an dem Temperaturpunkt vorhandenen Gefässe eine reizvermittelnde Bedeutung zu vindiciren. Am Kältepunkt würde die Contraction der Gefässschlingen die Nerven reizen, am Wärmepunkt die Dilatation. Die Temperaturnerven würden damit zu einer Art centripetaler Gefässnerven. — Allein hierzu wäre eine harmonische Abstimmung der Gefässweite auf die Eigentemperatur nothwendig, welche in rein mechanischen Verhältnissen begründet sein müsste, etwa wie bei der Quecksilbersäule des Thermometers — während wir doch gewohnt sind, die Veränderung der Gefässfüllung selbst erst durch die Vermittelung nervöser Vorgänge entstehend zu denken. Ausserdem spricht das Herantreten der Nervenenden an das Epithel entschieden gegen den Charakter centripetaler Gefässnerven. Will man in dieser Zusammenlagerung von Nerven und Gefässen überhaupt eine bedeutungsvolle Beziehung erblicken, so dürfte sie, wie ich meine, wohl nur darin gelegen sein, dass die Nerven dadurch möglichst unter den unmittelbaren Einfluss der Blutwärme gesetzt werden. Wie ich schon einmal an einem anderen Orte ausgeführt habe, übt der adaequate Reiz auf die Temperaturnerven in doppelter Weise einen schädigenden Einfluss aus. Einmal wird die Erregbarkeit derselben wie bei allen Sinnesnerven durch die Reizung an sich herabgesetzt, sie werden ermüdet. Hierzu gesellt sich aber noch die durch den Temperaturreiz, d. h. durch die Abkühlung oder Erwärmung gesetzte Veränderung der Eigentemperatur der Endorgane, und wir wissen, dass diese Veränderung der Eigentemperatur zugleich die Erregbarkeit der Endorgane schädigt. Das strömende Blut ist wohl zu allermeist im Stande, die veränderte Eigentemperatur einer Hautstelle zur Norm zurückzuführen. Die unmittelbare Nachbarschaft reichlich entwickelter Blutcanäle muss daher für die Function der Temperaturnerven von grösstem Vortheil sein, insofern als darin eine wirksame Compensation der die Nervenenden treffenden schädigenden Temperatureinflüsse gegeben ist und zum mindesten eine wirksamere, als wenn die Nervenenden behufs Ausgleichens ihrer veränderten Eigentemperatur lediglich auf die Eigenwärme des unterhalb gelegenen Gewebes angewiesen wären.

Vergleichung der Kälte- und Wärmenervenendigungen mit einander.

Es ist bisher ein Punkt noch nicht berührt worden, welcher dem physiologischen Verständniss gegenüber geradezu räthselhaft ist — nämlich das gegensätzliche Verhalten der Reizbarkeit bei den Kältenervenendigungen einerseits und den Wärmenervenendigungen andererseits. Während jene lediglich durch den Act des Sinkens der Eigentemperatur erregt werden

und durch das Steigen derselben unbeeinflusst bleiben, ist bei letzteren gerade das Umgekehrte der Fall. Als ich meine Untersuchungen begann, hatte ich die Hoffnung, greifbare Unterschiede zwischen der Endigungsweise der einen und der anderen zu finden, wie man sie eben nach dem physiologischen Postulat erwarten muss. Jedoch sind meine Erwartungen unbefriedigt geblieben. Dies könnte zunächst die Vermuthung rechtfertigen, dass vielleicht doch noch besondere Endapparate da sein mögen, deren Sichtbarmachung nur noch nicht gelungen, welche durch ihre je besondere Einrichtung jenes gegensätzliche Verhalten der Nervenenden ermöglichen. Dasselbe würde dadurch als eine blosse Wirkung der Endapparate, nicht der Eigenthümlichkeit der Nerven selbst erscheinen. Ohne diese Vermuthung als unbegründet zurückweisen zu wollen, möchte ich aber doch darauf hinweisen, dass es Erfahrungen giebt, welche die Kältenerven einerseits und die Wärmenerven andererseits, ganz abgesehen von den etwaigen Endapparaten, als different bezüglich ihrer Erregungs- und Leitungsfähigkeit hinstellen. Die eine dieser Erfahrungen ist in einer von mir gemachten Mittheilung enthalten, welche die Einwirkung des Menthols auf die Hautnerven zum Gegenstand hat und nachweist, dass das Menthol ganz vorzugsweise die Kältenerven, viel weniger die Wärmenerven erregt. Eine andere hier in Betracht kommende Thatsache ist die von Herzen gemachte Beobachtung, dass bei Druck auf den Nervenstamm (Einschlafen eines Gliedes) zuerst der Kältesinn, viel später erst der Wärmesinn erlischt. Es geht aus diesen beiden Erfahrungen hervor, dass einmal die Endigungen der Kältenerven gegenüber denjenigen der Wärmenerven irgend welche Verschiedenheiten, sei es chemischer, sei es physikalischer Natur, besitzen müssen, welche das differente Verhalten gegen Menthol bedingen; — dass andererseits die Leitungsfähigkeit der Kältenerven durch Druck leichter aufgehoben wird als die der Wärmenerven. Wenn derartige Differenzen die Nerven selbst zeigen, so wird dadurch die Nothwendigkeit verringert, alle Unterschiede des Verhaltens gegen die adaequaten Reize auf die Endapparate zu schieben, vielmehr die Möglichkeit eröffnet, auch die Nervenenden selbst hierfür in Anspruch zu nehmen. Wie dies zu geschehen hat, darüber lassen sich natürlich nur vage Vermuthungen aufstellen. Abkühlung sowohl wie Erwärmung erregen auch die Gefühls- und Drucknerven bei einer gewissen Reizstärke. Sonst wirkt erstere im Allgemeinen erregbarkeitsvermindernd, letztere erregbarkeitserhöhend.[1] Sind irgendwo Nerven in einem erhöhten Zustande von Reizbarkeit, z. B. an entzündeter Haut, so kann schon leichte Erwärmung momentan Schmerz erregen, während Abkühlung

[1] Grützner, Ueber verschiedene Arten der Nervenerregung. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XVII.



denselben sogar sistirt. Es ist danach nicht schwer verständlich, dass es Nervenenden gibt, welche durch Erwärmung geringsten Grades schon in Erregung versetzt werden (Wärmenerven), während sie gegen Abkühlung nicht reagiren. Wohl aber erscheint es als ganz merkwürdig, dass es nun auch Nervenenden giebt, welche durch die sonst erregbarkeitsvermindernde Abkühlung in Erregung versetzt werden, während die sonst erhöhende Erwärmung ohne Wirkung auf sie bleibt. Da nun aber, wie das Phaenomen des Menthols zeigt, die Kältenervenenden in der That anders constituirt sind als die Wärmenervenenden, so könnte man sich vorstellen, dass die Constitution der Nervenenden es mit sich bringt, dass dieselben ebenso, wie sie gegen den chemischen Reiz des Menthols ganz besonders reagiren, auch für die verdichtende Wirkung der Abkühlung vorzugsweise reizbar sind. Man müsste die Ursache wohl in einer eigenthümlichen molecularen Structur suchen, in Folge deren das Nervenende nach der Seite der Verdichtung hin sehr leicht das Gleichgewicht des Ruhezustandes verliert. Jede Erwärmung wird dieser kritischen Grenze der Verdichtung entgegenarbeiten und damit zu einer reizenden Einwirkung ausser Stande sein.

Es soll hiermit weiter nichts gesagt sein, als dass gewisse Anhaltspunkte existiren, um für das differente Verhalten der Kälte- und Wärmepunkte gegenüber den adäquaten Reizen die Constitution der Nervenenden selbst heranzuziehen. Wenn dies schwierig vorzustellen erscheint, so muss daran erinnert werden, dass die fraglichen Endapparate doch auch eben nicht anders vorzustellen sind, als von differenter physikalischer oder chemischer Constitution, vermöge deren die einen durch Abkühlung die anderen durch Erwärmung und zwar je ausschliesslich, verändert werden müssten. Wenn aber die vorgetragene Annahme gegen die Lehre von der Gleichartigkeit der Nerven verstösst, so ist doch gerade über die Nervenenden in dieser Beziehung sehr wenig festgestellt. Vielleicht werden einmal Färbemethoden gefunden, welche eine chemisch differente Constitution der verschiedenen Nervenenden ad oculos demonstriren.

Beziehung der Tastkörperchen zu den Drucknerven.

Von ganz besonderem Interesse für die Frage der Endapparate ist der Umstand, dass an den Druckpunkten keine Tastkörperchen gefunden wurden. Dies dürfte ein Licht auf die wahre Bedeutung dieser Gebilde werfen. Dass dieselben zum Tastsinn in gewisser Beziehung stehen, ist zweifellos, denn sie finden sich in ganz hervorragender Weise an den besonders zum Tasten eingerichteten Stellen und Gegenden des Körpers. Es fragt sich nur, welcher Art diese Beziehung ist. Da muss nun zunächst darauf hingewiesen werden, dass eine eigene Kategorie von Nerven oder etwa

von Sinneswahrnehmungen an den Tastflächen nicht existirt. Das Tasten stellt eine Combination von Druckempfindung mit Ortsempfindung dar, bei welcher auch das Muskelgefühl eine zweifellose Rolle spielt. Druck- und Ortssinn finden sich nun auf der ganzen Hautoberfläche, als specifische Eigenschaft der Druckpunkte. Der Unterschied der Tastflächen gegen die übrige Haut ist nur ein quantitativer, die Druckpunkte stehen dort eben viel dichter. Da nun ein Druckpunkt, wie ich gezeigt habe, an und für sich eines Tastkörperchens nicht benöthigt, so kann letzteres weder für die Druckempfindung noch die Ortswahrnehmung eine integrirende Bedeutung haben.

Es giebt jedoch ein anderes Moment, welches allerdings einen Unterschied der Tastflächen gegen die übrige Haut des Körpers repraesentirt. Die Hand soll äusserst feine mechanische Reize wahrnehmen und ist zugleich den allergröbsten Insulten ausgesetzt; während sie arbeitet, ist sie zugleich Sinneswerkzeug. Man denke, welchen Druckwirkungen die subepithelialen Nervenausbreitungen des Arbeiters, Turners ausgesetzt sind. Und eben dieselben Nerven sollen wieder als hervorragend empfindliches Sinneswerkzeug functioniren. Die dicke Hornschicht gerade derjenigen Regionen, welche vorwiegend als Tastflächen benutzt werden, kündigt dies eigenthümliche Verhältniss an. Was könnte hier nun näher liegen, als sich vorzustellen, dass die Tastkörperchen Schutzorgane der Nervenenden darstellen? Nach der eben angestellten Betrachtung müssen wir Vorrichtungen, welche die für die Sinnesthätigkeit bestimmten Nerven gegen gröbere Insulte schützen, geradezu postuliren. Da man nun gerade an diesen in Frage kommenden Nerven die Endigung mit eigenthümlichen Gebilden, eben den sogenannten „Tastkörperchen“, versehen findet, so ist nichts natürlicher, als die letzteren für die Erfüllung des Postulates in Anspruch zu nehmen. Auch das gleichweise Vorkommen der Tastkörperchen an Händen und Füssen sowie bei Affen spricht dafür, dass dieselben zunächst nichts mit dem Grade von Tastfeinheit zu thun haben, welchen wir gerade an der Hand erworben haben, sondern mit der Verwendung der Extremitäten zur Arbeitsleistung. Auch ist das numerische Verhältniss der Tastkörperchen der Feinheit des Drucksinnes (Tastsinnes) nicht entsprechend, z. B. befinden sich an der Zungenspitze weniger Tastkörperchen als an den Fingerspitzen, obwohl das Tastvermögen an der Zunge feiner ist.

Neuer Beweis für die Analgesie der Temperaturnerven.

Es ist schliesslich noch darauf hinzuweisen, dass in den geschilderten Untersuchungen ein neuer Beweis der specifischen Energie der Sinnesnerven enthalten ist. Denn bei exstirpirten Temperaturpunkten, an welchen

der Stich mit der Nadel absolute Schmerzlosigkeit erwiesen hatte, sieht man relativ starke Nervenfasern direct gegen den Stichkanal heranziehen. Wenn letztere überhaupt schmerzempfindlich wären, so würden sie sicher von der Nadel getroffen und also schmerzhaft erregt werden müssen. Da dies nun nicht geschieht, so ist daraus zu entnehmen, dass diese vorliegenden Nerven nur Temperaturgefühl zu leiten im Stande sind. Damit ist meine früher ausgesprochene Behauptung, dass die Temperaturnerven nicht fähig seien, Schmerzempfindung zu produciren, in der stringentesten Weise bewahrheitet.

Resumé.

Ueberschauen wir die positiven Resultate der Untersuchung, so erscheinen dieselben als im Ganzen bescheiden und bleiben vielleicht hinter den Erwartungen zurück, welche man an die nach ihrer Art zu den weitgehendsten Hoffnungen berechtigende Methode knüpfen sollte. Dies gilt namentlich bezüglich der Endigungen der Nerven sensu strictiori. Die Ursache hiervon liegt lediglich in unseren unzulänglichen Mitteln die feineren Nerven sichtbar zu machen. Dennoch glaube ich, dass die geschilderten Beobachtungen für die weitere Forschung auf diesem Gebiet in mehreren Beziehungen fruchtbringend sein werden. Als die mir am wichtigsten erscheinenden Punkte möchte ich folgende hervorheben:

1. Die gesicherte Erkenntniss von der Verbreitung der Nerven in Innervationsebenen und von der Möglichkeit, letztere durch die Sensibilitätsprüfung an der lebenden Haut festzustellen.

2. Die Thatsache, dass den sogenannten Sinnespunkten der Haut Anhäufungen von Nerven entsprechen, dass also die discontinuirliche Anordnung der Sinnesqualitäten in empfindlichen Punkten eine nachweisbare nervenanatomische Grundlage hat.

3. Die weitere Thatsache, dass je ein System solcher „Punkte" in ihrer Zugehörigkeit zu je einer Innervationsebene eine verbindende Einheit findet und dass damit ein causales Verständniss für das überraschende und merkwürdige Factum der Temperatur- und Druckpunkte gewonnen ist.[1]

4. Die tiefer in das Wesen der „Punkte" eindringende Erkenntniss, dass dieselben histologisch eigentlich kleinste innervirte Flächen darstellen,

[1] Ich kann es mir nicht versagen, hierbei darauf hinzuweisen, dass ich von Anfang an Blix gegenüber, welcher die Punkte als unregelmässig verstreut schilderte, den Standpunkt von einem ganz bestimmten Typus der Anordnung vertreten habe. Dieser Anschauung ist jetzt gewissermaassen der Boden verliehen.



welche, besonders bei den Druckpunkten, eine ganz vorwiegend längliche Ausdehnung besitzen. Die Bezeichnung als „Punkte", welche an und für sich die Vorstellung involviren könnte, als handele es sich entweder wirklich um singuläre innervirte Punkte oder um innervirte Flächenstücke von rundlicher Gestalt, braucht deshalb nicht geändert zu werden, ist jedoch überhaupt nur als Ausdruck des Gegensatzes zum empfindenden Continuum aufzufassen.

5. Die Bestimmung der Cutisgrenze als die Schicht, in welcher die Nervenendigungen zu suchen sind. Zugleich die Feststellung der Unsicherheit, welche bezüglich der Realität der Epidermisnerven noch besteht, und das neue in diese Frage eingeführte Kriterium, welches ein nachweisbares Verhältniss jeder Art von Epidermisnerven zu den Sinnespunkten postulirt.

6. Die Einseitigkeit der Frage nach der letzten Endigung und die Bedeutung der Endausbreitung neben jener. Die charakteristischen und der Deutung sehr wohl fähigen Eigenheiten der Endausbreitung einerseits der Drucknerven, andererseits der Temperaturnerven.

7. Die Erkenntniss, dass der heutige Stand der Physiologie der cutanen Sinne mit consequenter Nothwendigkeit die Untersuchung mittels Schnittserien erheischt, während diejenige willkürlich ausgewählter Schnitte demselben nicht mehr entspricht. Der Exstirpation von Sinnespunkten wird es bei der weiteren Forschung vielleicht nicht mehr bedürfen. Man wird auch ohne dieselbe nach den gegebenen Merkmalen Längsschnitte der Sinnespunktketten finden, und damit die Basis für die Untersuchung der Endigungen der Sinnesnerven.

Meine Untersuchungen sind auf der histologischen Abtheilung des hiesigen physiologischen Institutes, unter wohlwollender Unterstützung durch Hrn. Professor Fritsch, welchem ich hiermit meinen wärmsten Dank ausspreche, angestellt. Die in Anwendung gezogene Vergoldungsmethode ist eine Modification des Mays'schen Verfahrens, welche von dem Assistenten des Institutes, Hrn. Dr. Benda, gefunden worden ist. Dieselbe hat sich von mehreren meinerseits versuchten Methoden am besten bewährt.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. XI u. XII.)

Fig. 1 zeigt den Modus der Hautexstirpation. Die Nadel ist unter einem Sinnespunkt der vorliegenden Punktkette hindurchgeführt und leicht angehoben, sodass die Kette quer über die Nadel verläuft. Das Messer wird in den nach rechts offenen Winkel parallel zur Kette eingesetzt. Natürliche Grösse.

Fig. 2 soll eine Vorstellung von der Grösse und Gestalt der exstirpirten Stückchen geben.

a) Epidermisoberfläche eines Stückchens.

b) Schnittfläche eines Stückchens.

c) Profilansicht eines Stückchens.

d) Das grösste der exstirpirten Stückchen von der Epidermisoberfläche aus.

In a, c, d sind die Sinnespunkte mit angegeben. Natürliche Grösse.

Fig. 3. Ansicht einer im Längsschnitt getroffenen Circulations- und Innervationsebene, aus zwei benachbarten Schnitten combinirt. Dies Praeparat stammt von dem in Fig. 2 *d* dargestellten Stück und entspricht der auf demselben vorhandenen Kältepunktkette. Die nach rechts gelegene subepitheliale Ramification entspricht einem der Kältepunkte und zwar dem in Fig. 2 *d* links gelegenen. Vergrösserung 50.

Fig. 4. Gefäss- und Nervenverbreitung von einem aus der Kette exstirpirten Kältepunkt, aus mehreren benachbarten Schnitten combinirt. Die Lücke in der Oberhaut entspricht der Stichöffnung. Die zum Kältepunkt aufsteigenden Nerven sind leider nicht zu sehen, möglicher Weise in Folge des Einstechens. Vergrösserung 100.

Fig. 5. Gefäss- und Nervenverbreitung von einem aus der Kette exstirpirten Wärmepunkt, mit einem dem Wärmepunkt entsprechenden, etwas schiefem Stichcanal. Der eingezeichnete Haarbalg liegt von der Nervenausbreitung 15 Schnitte, also circa 0·15 ^{mm} entfernt Die Epitheleinsenkung entspricht bereits dem Trichter des Haarbalges. Der mittlere der Nerven ist der zum Wärmepunkt aufsteigende; derselbe verbreitet sich zwischen Haarbalg und Stichcanal. Vergrösserung 100.

Fig. 6. Gefäss- und Nervenverbreitung von einem aus der Kette exstirpirten Kältepunkt. Die einzelnen subepithelialen Fäden sind Gefühlsnerven; der unmittelbar an der Stichöffnung, welche sich diesmal auf einen Epidermisriss beschränkt, vorhandene Nervencomplex entspricht dem Kältepunkt und gehört dem nach links aufsteigenden Nerven an. Dieser Complex ist in Fig. 13 vergrössert dargestellt. Vergrösserung 100.

Fig. 7. *a* und *b* stammen von einem stark wärmeempfindlichen, aus der Kette exstirpirten Stück, in welchem sich besonders zwei Punkte durch Wärmeempfindlich-

keit auszeichneten, — zwischen welchen etwas stärkere Berührungsempfindlichkeit bestand — der eine in der Mitte, der andere am Ende gelegen. Der mittlere Theil der Schnittserie ist durch die combinatorischen beiden Zeichnungen dargestellt, derart, dass *a* 20, *b* 11 Schnitte repraesentirt.

Die links gelegene, sich durch beide Zeichnungen erstreckende tiefe Lücke entspricht einem bei der Exstirpation untergelaufenen Einschnitt; der dadurch halb abgetrennte Zipfel war nicht temperaturempfindlich. Die in *a* rechts gelegene Lücke entspricht dem Stich am mittleren Wärmepunkt, an dessen Stelle nachher in *b* das Haar tritt — welches sich übrigens schon in *a* durch die Epitheleinsenkung andeutet. Es ergiebt sich bei Betrachtung der Zeichnungen deutlich genug, wie die Gefässe und Nerven neben dem Haar aufsteigen und sich gleichsam in zwei Etagen einer cutanen und einer subepithelialen, verbreiten. In *a* verläuft der links gelegene Nerv zu dem hart am Einstich gelegenen Wärmepunkt. Die dort befindliche Ramification ist in Fig. 18 vergrössert dargestellt. Wahrscheinlich gehören auch die rechts vom Einstich gelegenen kurzen Fäden noch den Wärmenerven an. Der in *b* rechts aufsteigende Nerv bildet den an dem Ende des Stückchens gelegenen Wärmepunkt. Die rechts vom Stich sich erstreckenden längeren Fäden sind jedenfalls Gefühlsnerven. Vergrösserung 100.

Fig. 8. Gefässe und Nerven von einem Stück Druckpunktkette. Das Bild unterscheidet sich durch die subepithelial sich erstreckenden Fasern deutlich von den Ansichten der Temperaturpunktketten. Links sieht man die Nervenenden ein wenig zwischen je zwei Zellen des Epithels vordringen, ausserdem eine den Langerhans'schen Zellen ähnliche Bildung, welche hier absichtlich abgezeichnet ist, ohne dass diesen dunklen Dingen irgend eine Bedeutung für die Nervenendigung, speciell ein Zusammenhang mit den Nerven, beigemessen würde. Es soll nur gezeigt werden, wie verführerisch die Bilder sein können, ohne dabei beweisend zu sein. Der in der Mitte neben dem Gefäss aufsteigende Nervenstamm giebt wahrscheinlich noch nach links Aeste ab, welche aus der Ebene fallen. Vergrösserung 200.

Fig. 9. Druckpunkt. Das Praeparat ist schwach gefärbt, es sind deshalb die letzten Enden nur zum Theil sichtbar. Vergrösserung 200.

Fig. 10. Druckpunkt. Die aus mehreren benachbarten Schnitten zusammen gesetzte Abbildung zeigt eine Innervationsebene im Längsschnitt und das Verhältniss eines Druckpunktes zu dieser Innervationsebene. Letzterer wird durch die in der rechten Hälfte des Bildes dargestellte Nervenanhäufung repraesentirt. Der zum Druckpunkt führende Nerv geht spitzwinkelig von dem mit den Gefässen aufsteigenden Bündel ab, welches man sich hinter den Gefässen verlängert denken muss. Vergrösserung 200.

Fig. 11. Kältepunkt. Der Stichcanal, an welchem sich die Oberhaut etwas eingerollt hat, ist deutlich zu sehen. Der aufsteigende Nerv ist nicht sichtbar. Vergrösserung 200.

Fig. 12. Kältepunkt. Einige der Fäden sind bis an das Epithel zu verfolgen; von den anderen ist anzunehmen, dass das letzte Ende abgeschnitten oder nicht gefärbt ist. Eine wirkliche freie Endigung der Cutis wird man aus einem solchen Bilde nicht folgern können. Vergrösserung 200.

Fig. 13. Kältepunkt. Der Stichcanal erscheint auf den Nachbarschnitten breiter, er ist im vorliegenden mehr tangential getroffen. Die freie Ramification stellt den Kältepunkt (wahrscheinlich nur einen Theil desselben) des Uebersichtsbildes Fig. 6 dar und bildet das Ende des dort nach links aufsteigenden Nerven. Vergrösserung 200.



Fig. 14. Kältepunkt. Die bei der Praeparation gewöhnlich sich einstellende Verkrümmung zeigt sich hier im besonderem Grade. Die Ramification ist wahrscheinlich eine noch feinere. Vergrösserung 200.

Fig. 15. Kältepunkt. Die Endfäden sind sehr zart, der links gelegene etwas zerbröckelt. Vergrösserung 275.

Fig. 16. Kältepunkt. Durch das Praeparat, ebenso wie durch das folgende, wird die Beziehung von Temperaturpunkt zu Haar, welche physiologisch hervorgehoben worden war, illustrirt. Die aus zwei Schnitten combinirte Abbildung zeigt ein Stück Haarbalg, auf welchen der Einstich gerade eingetroffen ist. Links verliert sich der Nerv; rechts scheint ein Faden an den Haarbalg zu treten, wahrscheinlich aber geht er vor oder hinter demselben zum Epithel empor. Ein anderer Faden erreicht das letztere fast, während ein dritter abgeschnitten ist. Weiter nach rechts bildet ein schräg aufsteigender Nerv eine zarte Ramification. Wahrscheinlich enthält die solchergestalt von Nerven umrahmte Papille noch mehr Endfäden, und der ganze Complex dient zweifellos dem Kältepunkt, denn es ist in dem vor der Exstirpation aufgenommenen Status ausdrücklich bemerkt (Nr. A. u. meiner Sammlung), dass die analgetische Stelle sehr gross und in dem ganzen Stück ein empfindliches Stechen kaum zu erzeugen sei. Vergrösserung 200.

Fig. 17. Kältepunkt. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie bei der vorigen Abbildung. Der Stich, welcher etwas schief eingetroffen ist und sich durch die Goldbeschläge kennzeichnet, ist mit der Einsenkung eines Haarbalges zusammengetroffen. Zwischen letzterem und Gefässen eingekeilt liegen die Kältenerven. Vergrösserung 275.

Fig. 18. Wärmepunkt des Uebersichtsbildes Fig. 7. Der Stichcanal ist nur noch annähernd tangential getroffen, *a* und *b* stellen zusammen drei neben einander liegende Schnitte dar, derart, dass *a* aus zweien combinirt ist. Die in den Nachbarschnitten noch vorhandenen ergänzenden Gefässe sind im Umriss angegeben. *a* zeigt den aus der Tiefe kommenden Nerven und die an dem abfallenden Theil einer flachen Papille sich verbreitende Ramification; *b* zeigt die Höhe dieser Papille mit einer Gefässschlinge und ein die Lücke von *a* ausfüllendes Verbindungsstück des Nerven, sowie einige subepitheliale Fädchen. Ein feiner Faden scheint auf den ersten Blick an die Capillarschlinge heranzutreten, die genaue Untersuchung zeigt aber das in der Zeichnung wiedergegebene Verhältniss, nämlich keine Continuität; wahrscheinlich gelangt auch dieser Faden hinter dem Gefäss an die Epithelgrenze. Vergrösserung 200.

Fig. 19. Wärmepunkt. Gefässebene mit Haar. Der Nerv ist bis zur unteren Grenze des Hautstückes zu verfolgen. Die Ramification ist auffallend weit. Es ist immerhin möglich, dass der nach rechts verlaufende Nervenast schon Gefühlsnerv ist. Vergrösserung 200.

Fig. 20. Uebersichtsbild eines Stückes Wärmepunktkette mit einem Wärmepunkt; der rechts weiter verlaufende Nerv ist wahrscheinlich ein Drucknerv, da an die obere Begrenzung des exstirpirten Stückes eine Stelle grösserer Druckempfindlichkeit stiess, vor welcher der Schnitt gelegt wurde. Vergrösserung 100.

Fig. 21. Wärmepunkt von Fig. 20 bei stärkerer Vergrösserung = 275.

Fig. 22 giebt ein Bild der als solcher aufgefassten Epidermisnerven. Der Schnitt stammt aus der Umgebung eines Druckpunktes. Es ist absichtlich eine Stelle

ausgewählt, welche für die Lehre von den Epidermisnerven möglichst günstige Verhältnisse zeigt. Der Zusammenhang des einen Epidermisfadens mit einem subepithelialen ist in der That verlockend und mindestens so deutlich als wie ihn Ranvier zeichnet. Dass auch solche Bilder die nervöse Natur dieser Epidermisfäden mir nicht plausibel machen, habe ich im Text entwickelt. Vergrösserung 200.

Fig. 23. Endigung eines Gefühlsnerven. Der Schnitt hat die Haut schräg getroffen. Vergrösserung 275.

Fig. 24. Endigung eines Drucknerven. Derselbe entzieht sich an der ersten Zellenreihe mit einer leichten Anschwellung dem Blick; es ist wahrscheinlich, dass derselbe hier endigt. Vergrösserung 550.

Fig. 25. Endigung eines Drucknerven. Scheint zwischen zwei Zellen einzudringen und verliert sich dann in die Zellcontouren. Vergrösserung 200.

Fig. 26. Endigung von Wärmenerven. Die Nervenfäden sind an ihrem Ende zwar von Zellen umgeben, jedoch kann man von einem Eindringen jener in das Parenchym der Oberhaut nicht reden. Vergrösserung 275.

Fig. 27. Endigung von Kältenerven. Theils ein Aufhören an der Grenze des Epithels, theils ein Einmünden zwischen zwei Zellen und optische Verschmelzung mit den Zellcontouren. Vergrösserung 275.

Fig. 28. Endigung eines Nervenfadens aus einer Druckpunkt-Ramification. Das Bild erweckt auf den ersten Blick den Anschein, als ob der Nerv die erste Zellenreihe durchdringt, um dann an der zweiten zu endigen. Jedoch liegt, wie die Verschiebung an der Mikrometerschraube ergiebt, die im Bilde unterste Zellenreihe in Wirklichkeit weiter nach hinten als die im Bilde zweite Reihe und es erklärt sich dies daraus, dass der Schnitt gerade den abschüssigen Theil einer Papille getroffen hat. Der Nerv verläuft daher lediglich in der Cutis, theilt sich dichotomisch und endigt mit dem einen Ast zugespitzt an der Grenze der untersten Zellenreihe, während der andere wohl abgeschnitten ist. Vergrösserung 550.

Ueber haemorrhagische Dyspnoë.

Ein Beitrag zur Lehre von den Athemformen.

Von

E. Holovtschiner.

(Aus dem physiologischen Institut zu Berlin.)

(Hierzu Taf. XIII u. XIV.)

Eine genaue Kenntniss der Erscheinungen, welche plötzliche starke Blutverluste und lebensrettende Transfusionen begleiten, ist ebenso für Praxis wie für Theorie von einiger Wichtigkeit.

Ueber das, was auf Seite der Circulation bei diesen Anlässen geschieht, sind umfangreiche Erfahrungen von Ludwig's Schülern Slaviantzky, Tappeiner, Worm-Müller und Lesser gesammelt worden, denen in neuester Zeit Regéczy sehr Beachtenswerthes hinzugefügt hat. Die Aenderungen, welche gleichzeitig die Athmung zeigt, waren bisher nicht näher untersucht worden. Da man nun für die Lehre von der Athmung werthvolle Fingerzeige von diesen Aenderungen erwarten durfte und da der Athemtypus, weil unmittelbar der Beobachtung zugänglich, auch besonders geeignet ist, das Handeln des Arztes in den kritischen Momenten, die hier in praxi eintreten können, zu bestimmen, so bin ich der Aufforderung des Hrn. Dr. Gad, die Lücke unter seiner Leitung auszufüllen, gern nachgekommen.

Es bot sich die Aufgabe dar, die, die Aderlässe und Transfusionen gleichzeitig begleitenden Aenderungen des Blutdruckes und der Athmung mit graphischen Methoden zu verfolgen. Zur Transfusion wurde mit Rücksicht auf die grundlegenden Erfahrungen von Sander und Kronecker

körperwarme Kochsalzlösung von 0·6 Procent benutzt.[1] Zur Aufzeichnung der Blutdruckcurven diente Fick's[2] Blutwellenschreiber, mit dem sich sehr bequem arbeiten liess. Dieser Apparat, der in der neuesten Form die ihm sein Erfinder gegeben hat, von diesem selbst im 30. Bande von Pflüger's Archiv beschrieben ist, besteht im Wesentlichen aus einer starken Metallkapsel mit sehr kleinem Hohlraum, deren eines tellerförmiges Ende mit einer starken Kautschuklamelle überbunden ist und deren anderes röhrenförmiges Ende durch Glasröhren von engem Lumen mit dem Blutgefäss in Verbindung gesetzt wird. Durch den Blutdruck wird die Kautschuklamelle gespannt und sie drückt durch Vermittelung eines auf ihr festgeleimten Elfenbeinknopfes gegen einen federnden Metallstreifen. Letzterer ist mit dem einen Ende festgeklemmt; die sehr kleinen Bewegungen des freien Endes werden mittels eines Zeichenhebels stark vergrössert auf eine bewegte Zeichenfläche aufgeschrieben. Fick giebt nur in die Metallkapsel etwas Wasser, um die Dichtung der Kautschuklamelle zu sichern, sonst lässt er die Leitung bis zum Blut mit Luft gefüllt. Diese Herrichtung des Apparates bezweckt Verkleinerung der bewegten Massen und ist wesentlich zur Erreichung treuer Zeichnungen von dem zeitlichen Verlauf der einzelnen Pulsschwankungen des Blutdruckes. Da es uns nicht auf diese, sondern nur auf das Verfolgen der Aenderungen des mittleren Blutdruckes ankam, so zogen wir möglichst grossen Nutzen von der Gelegenheit, welche der Apparat gewährt, die Verschiebungen des Blutes in der Leitung auf ein Minimum zu reduciren und ersetzten die Luft in der Leitung vollständig durch concentrirte Sodalösung. An der Grenze zwischen dem Blut und dieser Lösung wurde eine kleine Luftblase gelassen, um die Vermischung der Grenze durch Diffusion zu vermeiden. Wegen der ausnehmenden Kleinheit der Formänderungen der Kautschuklamelle und wegen des Fehlens compressibler Flüssigkeit in der Leitung drang das Blut nicht über die in das Blutgefäss eingebundene Canüle vor und wegen der Kleinheit unorganischer Flächen, mit denen das Blut in Berührung kam, blieben Störungen durch Gerinnsel in allen unseren Versuchen aus.

Ein grosser Vortheil von Fick's Apparat besteht in der Kleinheit des Maassstabes, in dem er zeichnet und in der Kleinheit seiner eigenen Dimensionen, wodurch seine Benutzung namentlich in den Fällen sehr angenehm wird, wo man, wie in dem unsrigen, mehrere Vorgänge gleichzeitig graphisch aufnehmen will.

---

[1] J. Sander, Ueber die Bestimmung der circulirenden Blutmenge im lebenden Thiere. *Dies Archiv.* 1881. S. 471; — H. Kronecker, Ueber die den Geweben des Körpers günstigen Flüssigkeiten. *Deutsche medicinische Wochenschrift.* 1882. Nr. 12.

[2] A. Fick, Eine Verbesserung des Blutwellenzeichners. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXX. S. 597.

Durch die Raumersparniss auf der Zeichenfläche wird man der Benutzung eines Apparates mit unendlichem Papierstreif überhoben. Zu dieser Raumersparniss trägt es sehr viel bei, wenn man für jede der in verschiedenen Höhen gezeichneten Blutdruckcurven nicht eine besondere Nulllinie des Druckes zu zeichnen braucht. Dies ist auch bei Benutzung des Baltzar'schen Kymographions in der That nicht nöthig. Hat man Alles bis zur Verbindung des Blutwellenzeichners mit der Gefässcanüle vorbereitet, so legt man den Schreiber bei extremem, etwa tiefstem Stand der Zeichentrommel der Zeichenfläche an und lässt beim Gang des Uhrwerks eine Nulllinie zeichnen. Nach einmaligem Umlauf stellt man die Verbindung des Zeichners mit der Blutbahn her und man erhält nun bei dem nächsten Umlauf eine zu der gezeichneten Nulllinie gehörige Blutdruckcurve. Ist der Umlauf vollendet, so hebt man die Trommel um eine bestimmte Umdrehungszahl der Kurbel. Da die Schraube, welche die Hebung der Trommel mittels der Kurbel besorgt an den Baltzar'schen Apparaten genau gearbeitet ist, entspricht jeder Kurbeldrehung ein ganz bestimmter Höhenwerth der Trommelhebung, welcher ein für allemal ermittelt ist und dessen Kenntniss bei gleichzeitiger Kenntniss der Zahl der ausgeführten Kurbeldrehungen es gestattet, zu jeder neuen Blutdruckcurve die zugehörige Nulllinie nachträglich zu construiren. Hat man nun auch die Ausschläge des Blutwellenzeichners in der von Fick angegebenen Weise empirisch graduirt, so kann man für jeden Punkt jeder Curve den ihm entsprechenden Druck in Maassen einer Quecksilbersäule angeben. Und dies gilt nicht nur für die auf der ersten Trommel gezeichneten Curven, sondern auch für die aller folgenden, wenn man nur die Anfangshöhenstellung jeder folgenden Trommel gleich der Anfangsstellung der ersten Trommel macht. Die Einstellung der Trommel in bestimmte Höhe und ihre Erhebung um ein bestimmtes Maass wird erleichtert durch Anbringung einer getheilten Kreisscheibe unter und eines Zeigers an der Kurbel. Man kann dies zwar selbst leicht in provisorischer Weise ausführen, Hr. Baltzar hat sich aber gern bereit erklärt, die Einrichtung auf Verlangen an seinen Apparaten anzubringen. Es lohnt sich dies umsomehr, als das Kymographion dadurch zur Ausführung von Theilungen an empirischen Scalen und zu ähnlichen Praecisions-Arbeiten verwendbar wird.

Die brauchbarste Uebersicht über die gesammte Athemthätigkeit und deren Aenderungen geben die von Gad's Aëroplethysmographen gelieferten Curven der Athemvolumschwankungen. Der Gebrauch dieses Apparates, welcher von meinem Lehrer und einigen seiner Schüler schon zu einer Reihe von Untersuchungen benutzt worden ist, hat von anderer Seite keine Nachahmung gefunden, was mir um so verwunderlicher erscheint, als ich seine Handhabung sehr bequem und seine Angaben zuverlässig gefunden



habe. Construction und Gebrauch des Apparates sind von seinem Erfinder genau beschrieben;[1] sodass ich mich damit begnügen kann, hierauf zu verweisen. In Erinnerung bringen will ich nur, dass bei der gewöhnlichen auch von mir beobachteten Gebrauchsweise, bei welcher die Trachea des Thieres durch Vermittelung einer geräumigen Vorlage mit dem Volumenschreiber in Verbindung gesetzt wird, das Sinken der Curve der Inspiration entspricht. Unmittelbar erfahren wir nach vorgängiger empirischer Graduirung des Apparates aus dem Ordinatenwerth der Senkung die inspiratorische Volumzunahme des Thorax. Jeder solchen Volumzunahme des Thorax muss eine Vermehrung der Anstrengung des Inspirationsapparates entsprechen, da auch auf der Höhe jeder gewöhnlichen Exspiration noch ein Rest von Inspirationsanstrengung vorhanden ist. Von der Richtigkeit dieses für die Beurtheilung der Athemvolumcurven wichtigen Satzes, überzeugt man sich durch plötzliche Tödtung des Thieres, etwa mittels des Stiches in den Noeud vital. In Folge dieses Stiches geht der Thorax bei Fortfall aller Muskelkräfte in seine elastische Gleichgewichtslage über und der Volumenschreiber verzeichnet vom Moment des Todes an eine Horizontale, welche meist oberhalb der vorher gezeichneten Athemvolumcurve liegt. (Vgl. Curve 16).

Die von mir gebrauchte Vorlage bestand in einer 5 Liter fassenden, unten tubulirter Glasflasche, deren Hals mit dem Volumenschreiber, deren Tubulus mit der Trachealcanüle in Verbindung gesetzt wurde. Die Luft in der Vorlage wird dadurch erneuert, dass die Flasche mit Wasser gefüllt und dann wieder entleert wird. Etwas Wasser wird darin gelassen, damit die Luft stets mit Wasserdampf gesättigt bleibt. Ist dies der Fall, so stellt sich sehr bald nach Herstellung aller Verbindungen, welche erfolgt, nachdem man erwarten kann, dass die Vorlage Zimmertemperatur angenommen hat, ein stationärer Wärmezustand ein, das heisst, es fliesst ebensoviel Wärme in der Zeiteinheit von der Vorlage ab, als ihr durch die erwärmte Ausathmungsluft zugeführt wird. Man erkennt dies daran, dass die unter gewöhnlichen Bedingungen aufgenommene Athemcurve horizontal verläuft.

Da ein Kaninchen pro Kilo Körpergewicht in der Minute ca. 10 ^{ccm} CO_2 producirt, so kann man das Thier mehrere Minuten aus der Vorlage athmen lassen, ohne dass aërophthorische Dyspnoë eintritt. Dehnen sich die Versuche über längere Zeiten aus, so muss man in entsprechenden Intervallen die Luft der Vorlage erneuern. Meist lassen sich aber die wesentlichen Theile eines Versuches auf kürzere Zeit zusammendrängen und man kann den Luftvorrath der Vorlage auch dadurch schonen, dass man, wie

[1] J. Gad, Ueber einen neuen Pneumatographen. *Dies Archiv.* 1879. S. 181; — Die Regulirung der normalen Athmung. *Ebenda.* 1880. S. 1.

es bei meiner Versuchsanordnung geschehen war, einen Dreiweghahn zwischen die Trachealcanüle und die Vorlage einschaltet und mit Hülfe desselben dafür sorgt, dass das Thier, so lange keine Athemcurve aufgenommen werden soll, aus der freien Luft athmet. In die Trachea des Thieres wurde eine Trachealcanüle mit T-Hahn eingebunden, was den Vortheil gewährte, wenn die Erhaltung des Thieres beabsichtigt war, den Erfolg der lebensrettenden Transfusion tagelang beobachten zu können. Bekanntlich sterben Kaninchen schon in Folge Einlegens einer gewöhnlichen Trachealcanüle in 24 bis 48 Stunden, während sie bei Stellung der Gad'schen Trachealcanüle mit T-Hahn[1] auf Nasenathmung 1 bis 2 Wochen erhalten bleiben, wovon auch ich mich überzeugen konnte.

Behufs Gewinnung der Blutdruckcurve wurde in die eine Carotis eine endständige mit Sodalösung gefüllte Canüle eingebunden. Zu Aderlass und Transfusion wurden verschiedene Gefässe benutzt, zu ersterem die zweite Carotis oder eine Art. cruralis zu letzterer eine Art. cruralis oder eine Vena jugularis externa. Im Ganzen empfahl es sich die Kopfgefässe nicht zu stark in Anspruch zu nehmen, der Erfolg schien auch etwas verschieden zu sein, je nachdem nur die eine Carotis behufs Gewinnung der Druckcurve oder mehrere Kopfgefässe gleichzeitig der Circulation entzogen waren.

Die Vorbereitungen zu jedem Versuch begannen mit dem subcutanen Einspritzen einer halben Grammspritze voll Chloralhydratlösung (1:2) pro Kilo des gewogenen Kaninchens, ausser in den Controlversuchen an wachen Thieren. Dann folgte das Einbinden der Canülen, und zwar der T-Hahncanüle in die Trachea, einer trockenen Canüle zum Aderlass, einer mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten für die Transfusion und einer mit Sodalösung gefüllten für die Blutdruckzeichnung. Lagen die Canülen, so wurde die Verbindung der Trachealcanüle durch Vermittelung einer Dreiweghahncanüle mit der frischgelüfteten Vorlage zum Volumschreiber hergestellt, die Nulllinie des Blutwellenzeichners bei Athmung des Thieres aus freier Luft aufgeschrieben, dann die entsprechende Gefässcanüle mit dem Leitungsrohr zum Blutwellenzeichner verbunden und der Dreiweghahn auf Athmung aus der Vorlage gestellt.

Während sich nun normale Athemvolum- und Blutdruckcurven aufzeichneten, wurde der Aderlass begonnen, das Blut in einem Messgefäss aufgefangen. In den Curven drückten sich die die Haemorrhagie begleitenden Veränderungen aus. War die Trommel umgelaufen, so wurde sie unter Beachtung der Zahl der Kurbeldrehungen gehoben, sodass unter dem ersten

[1] J. Gad, Die Athemschwankungen des intrathoracalen Druckes. *Dies Archiv*. 1878. S. 563.



Curvenpaar ohne Unterbrechung das zweite und später ebenso das dritte folgte. Nach Beendigung des Aderlasses, der so lange fortgesetzt wurde, als das Blut kräftig floss, wurde in kürzeren oder längeren Intervallen die Transfusion gemacht, zu der Alles auch dadurch vorbereitet war, dass eine mit körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung gefüllte Spritze zur Hand lag. Nach dem ersten Aderlass und darauffolgender Transfusion wurde bei Ablauf der dritten Trommelumdrehung die Curvenaufnahme unterbrochen, die Luft in der Vorlage erneuert, eine frisch berusste Trommel eingesetzt, neue Kochsalzlösung erwärmt u. s. w. und dann zur Fortsetzung des Versuches mit wiederholten Aderlässen und Transfusionen geschritten. Ein typisches Bild von dem gleichzeitigen Verhalten des Blutdruckes und der Athmung bei plötzlichem starken Blutverlust und schnell folgender Transfusion giebt die Curvengruppe I (Taf. XIII), welche aus den drei Curvenpaaren 1, 2 und 3 besteht, die unmittelbar hinter einander aufgenommen worden sind. Die normale Athmung des narkotisirten, grossen $3^1/_2$ Kilo schweren Kaninchens bei Beginn der Curve 1 ist langsam und tief mit deutlichen, für den Chloralschlaf charakteristischen Verlängerungen der Exspirationsdauer. Der Blutdruck ist, in Anbetracht der Chloralnarkose nicht niedrig zu nennen, im Mittel 92 ^{mm} Hg, die Pulse sind selten und gross, die Athemschwankungen des Blutdruckes deutlich. Die Mittellinie der Athemvolumen- und der Blutdruckcurven sind horizontal. Bei *a* beginnt der Aderlass aus der linken Art. cruralis. Der Blutdruck sinkt zuerst schnell, dann allmählicher, gleichzeitig nimmt die Höhe der Pulse ab. Die Athmung verliert zunächst nichts an ihrer Regelmässigkeit. Bei Innehaltung des bisherigen Athemtypus werden aber die einzelnen Inspirationen allmählich tiefer und die Verbindungslinie der expiratorischen Kuppen neigt sich unter die Wagerechte, d. h. die gesammte Inspirationsanstrengung nimmt zu. Die Athemschwankungen des Blutdruckes bleiben noch sichtbar. Bald nachdem der Blutdruck etwas unter $^1/_3$ der ursprünglichen Höhe gesunken ist, wird das Thier unruhig, Athmung und Blutdruck zeigen unregelmässige Schwankungen. Der Aderlass, welcher dem Thier etwa $^1/_3$ seines Blutvorrathes genommen hat, wird beendet bei *b* und es treten wieder regelmässige Erscheinungen auf. Der auf $^1/_3$ der ursprünglichen Höhe gesunkene mittlere Blutdruck hält sich ganz constant (bei regelmässigen auf die Hälfte der Ausgiebigkeit reducirten aber nicht verlangsamten Pulsen) und eine Athmung von neuem Typus greift Platz. Diese Athmung ähnelt ihrer Form nach derjenigen, welche Gad und Mertschinsky[1] als charakteristisch für die cephalische Wärmedyspnoë beschrieben haben. Das Wesentliche ist Beschleunigung und Ver-

[1] O. v. Mertschinsky, Beitrag zur Wärme-Dyspnoë. *Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg.* N. F. XVI.



flachung der Athemzüge. Trotz der Verflachung der einzelnen Athemzüge ist aber in unserem Falle die Summe der gesammten Inspirationsanstrengung nicht verringert worden, eher vermehrt, der Nutzeffect der Athmung aber ist vermindert. Noch ehe letztere Verminderung einen bedrohlichen Charakter annimmt, wird in die rechte Art. cruralis eine Transfusion von körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung gemacht (*c*).

Während der ersten Zeit des Einspritzens, in welcher Blutdruck und Pulshöhe schon deutlich zunehmen, tritt noch keine Verbesserung der Athmung ein, im Gegentheil, die Verflachung der Athemzüge nimmt noch eine Zeit lang zu, dann aber beginnt die Athmung zunächst ohne wesentliche Vermehrung der gesammten Inspirationsanstrengung ergiebiger zu werden und bald zeigt sich ein Athemtypus, wie er für den Lufthunger eines kräftigen Thieres charakteristisch ist. Schnelle und tiefe Athemzüge bei dauernder Erweiterung des Thorax über die Gleichgewichtslage bekunden die Rückkehr der Energie des Inspirationsapparates und bewirken ausgiebige Ventilation der Lungen. Zu dieser Athmung kann man das Vertrauen haben, dass sie dem Thier über den starken Blutverlust hinweghelfen wird.

Noch interessanter gestalten sich die Erscheinungen, wenn nach dem, an sich tödtlichen Aderlass etwas länger mit der lebensrettenden Transfusion gewartet wird, wie dies in dem durch die drei Curvenpaare 10, 11, 12 repraesentirten Versuch (Curvengruppe IV, Taf. XIII) geschehen ist. Hier hatte die durch zu kleine Bewegungen bei dauernder Inspirationsanstrengung ausgezeichnete Athmung, deren Typus wegen der Kleinheit der Bewegungen als hypokinetischer bezeichnet werden kann, schon einen hohen Grad von Insufficienz in Bezug auf Lüftung der Lungen erreicht, als die Transfusion mit körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung begonnen wurde. Der unter die halbe ursprüngliche Höhe gesunkene Blutdruck begann sofort sich zu heben, die minimal gewordenen Pulse stiegen auch bald zu sehr beträchtlicher Höhe an, während die Athmung in ihrer hypokinetischen Verschlechterung zunächst noch fortfuhr. Dann aber macht sich auch auf die Athmung der lebensrettende Einfluss geltend und sie wird pneumatorektisch, d. h. so wie bei dem lufthungrigen kräftigen Thiere. Aus den beiden vorgeführten Beispielen geht schon hervor, dass man die Vermehrung der Athemexcursionen nicht zu schnell nach Beginn der Transfusion erwarten darf. Man muss aber wissen, dass der erste Erfolg der Transfusion sogar in Aufhebung aller Athembewegungen bestehen kann. Es kommt nämlich vor, dass wenn die Transfusion bei bestehender hypokinetischer Athmung gemacht wird, Apnoë eintritt. Als es uns das erste Mal begegnete, dass ein Thier bei Beginn der Transfusion seine Athembewegungen ganz einstellte, statt wie wir es erwartet hatten, sichtbare Zeichen der Erholung zu geben, hätten wir uns beinahe bestimmen lassen, mit der Trans-



fusion inne zu halten, irgend ein verhängnissvolles Versehen besorgend. Hieran hinderte uns nur das vertrauenerweckende Verhalten des Blutdruckes, (Curvengruppe VI, Taf. XIV) welchen wir ja gleichzeitig vor Augen hatten. Curvenpaar 15 stellt diesen Fall dar. Das Thier hatte schon einen Aderlass mit folgender Transfusion und darauf einen zweiten Aderlass erlitten. Der Blutdruck war auf halber Höhe, die Pulse waren sehr klein, hypokinetische Athmung war in der Entwickelung. Da wurde bei *a* eine neue Transfusion in die Vena jugularis gemacht, der Blutdruck stieg jäh, die Ausschläge des Pulses wurden kräftig, aber die Athmung wurde flacher und langsamer, um für mehrere Secunden dann ganz auszusetzen. Dass es sich hierbei um eine ganz unbedenkliche Apnoë handelt und nicht um ein asphyktisches, oder besser gesagt synkoptisches Einstellen der gesammten Athemthätigkeit, erkennt man aus der Athemcurve daran, dass der Volumenschreiber die dem Athemstillstand entsprechende Horizontale unterhalb der Exspirationskuppen, also bei einer um so beträchtlicheren inspiratorischen Entfernung aus der Gleichgewichtslage verzeichnet, als die Exspirationskuppen selbst beträchtlich unter der der Gleichgewichtslage entsprechenden Horizontalen liegen. Dass letzteres der Fall, wurde durch Tödten des Thieres mittels Stiches in den Noeud vital (Curve 16) bewiesen. Der Uebergang aus Apnoë in pneumatorektische Athmung (Curve 15) erfolgt genau so wie bei einem Thier, das durch künstliche Lungenventilation apnoisch gemacht worden war und danach aus beschränktem Luftraum athmet.

Bei den höchsten Graden von Haemorrhagie, welche man am sichersten erreicht, wenn man mit Aderlässen und Transfusionen abwechselt, tritt eine sehr charakteristische Athemform auf, die man, da sie stets der unmittelbare Vorläufer des Todes durch Haemorrhagie ist, die synkoptische nennen kann. Typisch für diese Athemform ist die Seltenheit der Inspirationen, welche durch lange Pausen getrennt sind. Die Tiefe der einzelnen Einathmungen nimmt zeitweise noch zu und erreicht hierbei bedeutende Werthe, um erst gegen das Ende immer kleiner und kleiner zu werden. Unter seltener und flacher werdenden Athemzügen tritt der Tod ein. Hierbei zeigt sich dann, dass schon während der ganzen synkoptischen Athmung der Inspirationsapparat in den Athempausen erschlafft gewesen war. Die während der Athempausen gezeichneten Horizontalen verlaufen in demselben Niveau, wie die nach dem Tode gezeichnete wagerechte Linie, welche dem elastischen Gleichgewichtszustand des Thorax entspricht. Hierin sind die synkoptischen Athempausen wesentlich verschieden von der oben beschriebenen apnoischen Athempause.

Als Beispiel einer zum Tode führenden synkoptischen Athmung möge Curvengruppe III (Taf. XIII) dienen. Das Thier hatte vor Beginn der Curve 6 schon zwei ausgiebige Aderlässe erlitten. Bei *a* wurde die Arterie zum

dritten Mal eröffnet. Während das Blut fliesst, beginnt der Collaps des Inspirationsapparates unter gleichzeitiger Unruhe des Thieres. Es treten exspiratorische Athempausen ein, während deren der Thorax mehr und mehr der elastischen Gleichgewichtslage zustrebt. Bei *b* wird die Ader wieder geschlossen, die synkoptische Athmung erhält sich auf dem bisher erreichten Grade. Als aber bei *c* die Ader nochmals geöffnet wird, nimmt sie den, das nahe Ende verkündenden Charakter an und verläuft in der oben beschriebenen Weise. So sehr nun auch das Leben bedroht ist, wenn erst synkoptischer Athemtypus sich entwickelt hat, so ist doch Rettung durch Transfusion noch möglich. Ein Beispiel hierfür bietet die Curvengruppe II (Taf. XIII). Dem Thier, welches dieselben geliefert hat, waren beide Nn. vagi am Halse durchschnitten worden und es hatte schon vor Beginn der Curve 4 einen kräftigen Aderlass erlitten. Als bei *a* die Ader wieder geöffnet wurde, floss das Blut sehr spärlich und bis zum Wiederverschluss bei *b* waren nur 2 ccm abgelaufen. Trotz der Geringfügigkeit dieser Haemorrhagie entwickelte sich ganz plötzlich synkoptisches Athmen. Schon die vierte Inspiration war sehr verkleinert und die darauf folgende Athempause zog sich unter Abweichen in der Richtung zur Cadaverstellung so lange hin, dass kaum noch eine Inspiration zu erwarten war. Da wurde bei *c* eine reichliche Transfusion mit körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung gemacht. Noch während der Transfusion kehrten die Einathmungen wieder, zuerst klein und durch lange Pausen getrennt und dann immer tiefer und häufiger, sodass schon in der Mitte des nächsten Trommelumlaufs (Curve 5) die Athmung ganz sufficient war. Das Thier hätte mit dieser Athmung gewiss weiter leben können, doch es wurde bald darauf noch ein Aderlass gemacht, bei der das Blut wegen der voraufgegangenen Transfusion reichlicher floss und welcher schnell wieder Synkope des Inspirationsapparates hervorrief. Diese konnte durch erneute Transfusion nur ganz vorübergehend aufgehoben werden. Sofort nach Beendigung der Transfusion stellte sich die Synkope wieder ein, nahm unaufhaltsam zu und führte zum Tode. — Bei wiederholten Aderlässen ohne zwischengelegte Transfusion steht die geringe Ergiebigkeit späterer Aderlässe oft in einem merkwürdigen Missverhältniss zu ihrer starken Einwirkung auf die Athmung. Es kommt vor, wenn letztere vor Wiedereröffnung der Ader noch ganz sufficient war und das Blut nach der Eröffnung nur in Tropfen fliesst, dass die Athmung doch gleichzeitig synkoptischen Charakter annimmt, der vorübergeht, wenn die Arterie wieder geschlossen wird. Man bekommt in solchen Fällen den Eindruck, als ob Eröffnung und Verschluss der Arterie einen unmittelbaren, nicht erst durch die Grösse der Haemorrhagie vermittelten Einfluss auf den in so labilem Zustand befindlichen Athemapparat habe.

Eine sehr interessante Beobachtung haben wir wiederholt zu machen



Gelegenheit gehabt, wenn nach kräftiger Haemorrhagie mit darauf folgender Transfusion nochmals ein kräftiger aber nicht tödtlicher Aderlass gemacht worden war. Gleichzeitig mit der Ausbildung der als Traube-Hering'scher Wellen bekannten Schwankungen im mittleren Blutdruck trat ein in gleicher Periode mit diesen Wellen ablaufendes An- und Abschwellen der respiratorischen Thoraxexcursionen ein. Das Curvenpaar 13 (Taf. XIV) giebt ein Beispiel dieser, leider nicht nach Willkür hervorzurufenden Erscheinung. Der mittlere Blutdruck schwankt in ziemlich regelmässigen Perioden zwischen circa 40 und 57 mm Hg. Die Pulsfrequenz ist an diesen Schwankungen nicht betheiligt, wohl aber die Pulshöhe. Nicht nur die Höhe der einzelnen Pulse nimmt beim Ansteigen des mittleren Druckes zu, sondern auch der Unterschied zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Pulsen. In letzterem Unterschied ist wohl eine Andeutung von Athemschwankungen des Blutdruckes zu erkennen, denn von den seltenen Pulsen kommen immer je zwei auf jede der häufigen Athemzüge. — Unverkennbar stimmt die Periode der Schwankungen in der Breite der Thoraxexcursionen mit der Periode der Traube-Hering'schen Wellen überein, doch zeigen beide periodische Vorgänge, insofern eine Phasenverschiebung als weder Minimum noch Maximum des mittleren Blutdruckes mit der grössten Breite der Thoraxexcursionen zeitlich zusammenfällt. — Ganz charakteristisch für die hier behandelten periodischen Schwankungen in der Breite der respiratorischen Thoraxexcursionen ist, dass die Mittellage, um welche sie sich vollziehen, wesentlich unverändert bleibt, dass also die Zunahme der Excursionsbreite sich nicht durch alleinige Vertiefung der Inspirationen bei gleichbleibender oder sogar abnehmender Höhe der Exspirationsmaxima, wie bei pneumatorektischer Dyspnoë, sondern durch gleichmässige Zunahme der Excursionen in in- und exspiratorischer Richtung vollzieht. Man kann ja leicht pneumatorektische Dyspnoë mit Apnoë periodisch wechseln lassen, etwa dadurch, dass man alternirend aus Luft und O-armem Raum athmen lässt. Das ist bei Aufnahme der Curve 14 (Taf. XIV) geschehen. Man wird den angedeuteten typischen Unterschied bei Vergleich der Curven sofort erkennen.

Nachdem die bei Haemorrhagie und Transfusion auftretenden Athemformen an ausgewählten Beispielen vorgeführt worden sind, erübrigt es, der Variationen in Combination dieser Erscheinungen zu gedenken, die ausserdem zur Beobachtung gekommen sind. Diese Variationen treffen hauptsächlich die Zeit des Auftretens und den Grad der Entwickelung der als hypokinetisch bezeichneten Athemform. Es kommt vor, dass sie gleich zu Anfang einer kräftigen Haemorrhagie Platz greift, ohne dass es vorher zu einer pneumatorektischen Dyspnoë gekommen wäre. Letztere entwickelt sich dann später, wenn man es bei einem einmaligen Aderlass bewenden liess, von selbst oder nach geschehener Transfusion. In einigen Fällen blieb auch

die hypokinetische Athmung ganz aus, es trat nur pneumatorektische Dyspnoë auf, die sich mit fortgesetzter Haemorrhagie und auch nach Beendigung derselben steigerte, um, wenn die Haemorrhagie einen gewissen Grad überstiegen hatte, unmittelbar in synkoptisches Athmen überzugehen. Letzteres trat am leichtesten ein bei wiederholter Eröffnung der Ader, selbst unter geringem Blutstrom, wie schon oben angedeutet. Wurde zur Zeit pneumatorektischer Dyspnoë eine Transfusion gemacht, so änderte sie nichts an der Athemform, es wurde dadurch nur die Neigung zur Synkope verringert. Den schlagendsten Erfolg zeigt die Transfusion, wenn sie zur Zeit vorgeschrittener hypokinetischer Athmung gemacht wird. Die fliegende oberflächliche Athmung, der man die Insufficienz für Lüftung der Lungen ohne weiteres ansieht und die deshalb einen beängstigenden Eindruck macht, weicht nach der Transfusion in praeciser Weise einer ausgiebigen Athmung zu der man alles Vertrauen haben darf. Könnte man das Eintreten hypokinetischer Athemform mit Sicherheit vorhersagen, so würde sich die Ueberführung derselben durch Transfusion in pneumatorektische zu einem Vorlesungsversuch eignen, der an drastischer Wirkung nichts zu wünschen übrig liesse und zur Verbreitung des Vertrauens in die lebensrettende Wirkung von Kochsalztransfusionen viel beitragen könnte.

Zu den constantesten Erscheinungen bei genügend fortgesetzter Haemorrhagie gehört das synkoptische Athmen. Das Gefährliche dieses Zustandes springt auch ohne Weiteres in die Augen und der Erfolg der Transfusion ist, wenn er eintritt, sehr überraschend. Aber hier ist man wieder des Erfolges nicht mehr sicher, wie wir oben gesehen haben. Thatsächlich ist auch der Zustand des Thieres bei synkoptischer Athmung weit bedenklicher als bei hypokinetischer. Bei ersterer ist die Energie des Inspirationsapparates schon so weit gesunken, dass sich derselbe nur noch bei den einzelnen Inspirationen zu schnell vorübergehender Anstrengung aufrafft und zu Zeiten der Athempausen ganz erschlafft ist, während bei letzterer, wie wir mit unseren Hilfsmitteln erkannt haben, der Thorax durch dauernde Anstrengung des Inspirationsapparates beträchtlich aus seiner Gleichgewichtslage entfernt gehalten wird.

Besonders bemerkt zu werden verdient noch, dass die erste Reaction des Athemapparates auf die Haemorrhagie, mochte sie nun in pneumatorektischer oder hypokinetischer Form auftreten, bei allen unseren Versuchen ausnahmslos in einer Vermehrung der Inspirationsanstrengung bestand. Diese Erfahrung ist eine der Stützen für die von Gad aufgestellte Lehre, dass nur die Inspirationscentren und nicht die Exspirationscentren automatischer (autochthoner) Erregung fähig sind.

Was nun die Deutung der vorstehend beschriebenen Erscheinungen anlangt, so ist sie am leichtesten für die pneumatorektische Dyspnoë zu

geben. In der That ist dies die Athemform, die man nach Haemorrhagie ohne Weiteres erwarten sollte. Mit Verringerung der in dem Gefässsystem des Thieres enthaltenen Flüssigkeitsmenge sinkt der Blutdruck. Dass die Aenderung des Wanddruckes in den Gefässen der Medulla oblongata von Einfluss auf die Thätigkeit der inspiratorischen Ganglienzellen sein sollte, ist allerdings a priori unwahrscheinlich und durch Nichts erwiesen. Mit dem Sinken der mittleren Höhe des Blutdruckes sinkt aber auch die Höhe der einzelnen Pulse, d. h. es sinkt die bei jeder Systole geförderte Blutmenge und da die Zahl der Systolen in Folge der Haemorrhagie nicht zunimmt, muss die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes abnehmen. Verringerte Strömungsgeschwindigkeit in den Lungengefässen muss nun freilich der vollkommenen Arterialisirung des Blutes zu Gute kommen, das verlangsamte Fliessen in den Gefässen der Medulla oblongata verschlechtert aber die Bedingungen für Lüftung der letzteren. Je langsamer das in die Medulla oblongata gelangte Blut durch neues ersetzt wird, um so langsamer muss die Abführung der dort gebildeten Kohlensäure und der Ersatz des dort verbrauchten Sauerstoffes von Statten gehen. Es wird einen Grad von Stromverlangsamung geben, bei dem das Blut, obgleich es besser arterialisirt aus den Lungen kommt als vorher, trotzdem in der Medulla oblongata stärker venös wird und dann muss Lufthunger entstehen. Es liegt aber kein Grund vor anzunehmen, dass der auf diesem Wege entstandene Lufthunger der Medulla oblongata sich in einer anderen Dyspnoëform äussern solle, als der auf irgend einem anderen Wege, etwa durch Verschlechterung der Ventilation der Lungenluft entstandene. Die pneumatorektische Dyspnoë werden wir also als eine gesunde und zweckmässige Reaction des Organismus gegen Blutverlust aufzufassen haben und in der That treffen wir sie auch als regelmässige Erscheinung bei Haemorrhagien, die das sonst noch ungeschwächte Thier treffen.

Dass längere Darniederliegen der Circulation in der Medulla oblongata zu Erschöpfung des Inspirationscentrums führen werde, ist zu erwarten. Es ist auch nicht verwunderlich, dass diese Erschöpfung sich in Seltenerwerden der Athemzüge und in Zustreben des Thorax zur Cadaverstellung, wie wir es in der synkoptischen Athmung kennen gelernt haben, äussern werde. Worauf aber die zeitweise Vertiefung der seltener gewordenen Inspirationen beruhe, ist dunkel. Sie erinnert an die Erscheinung der terminalen Athmung, welche von Falk, Högyes und S. Mayer[1] als letzte Lebensäusserung bei Erstickung durch Ertrinken oder Trachealverschluss beobachtet ist. Dieses letzte Aufflackern vor dem völligen Erlöschen scheint

[1] S. Mayer, Beitrag zur Kenntniss des Athemcentrums. *Prager Zeitschrift für Heilkunde.* Bd. IV. S. 187.

dem Inspirationsapparat eigenthümlich zu sein. Nicht minder dunkel ist die Bedeutung der hypokinetischen Athmung, welche wir in verschiedenen Phasen der Haemorrhagie statt pneumatorektischer Dyspnoë eintreten sahen. An Unzweckmässigkeit steht sie der synkoptischen gleich, denn obwohl vermehrtes Athembedürfniss vorhanden sein muss, schafft sie weniger Luft als normale Athmung, ja bei hoher Ausbildung so wenig, dass sie das Leben zu unterhalten nicht im Stande sein kann. Aber so insufficient die hypokinetische Athmung auch sein mag, sie enthält nicht, wie die synkoptische die Anzeichen des drohenden Todes, da die Energie des Inspirationsapparates, wie die dauernde Entfernung des Thorax aus seiner Gleichgewichtslage anzeigt, noch eine erhebliche sein muss. So bemerkenswerth es ist, dass die hypokinetische Athmung durch Transfusion sicher in pneumatorektische Dyspnoë überzuführen ist, so reichen doch die vorliegenden Erfahrungen zu einer genügenden Deutung der ersteren nicht aus. Es ist uns bisher nicht gelungen dieselben genügend zu erweitern, weil man eben das Eintreten und den Grad der Entwickelung der hypokinetischen Athmung nicht mit Sicherheit vorhersagen kann.

Die gelegentlich nach Transfusion auftretende Apnoë stellt sich derjenigen zur Seite, welche man nach den Angaben von Filehne[1] und Gad[2] beobachten kann, wenn nach Ligatur der Kopfgefässe plötzlich der Blutstrom zum Hirn wieder frei gegeben wird. Hr. Dr. Gad hat mir auch gesagt, dass ganz analoge Apnoë eintreten kann, wenn ein Thier nach Athmen aus sehr sauerstoffarmer Luft plötzlich wieder atmosphaerische Luft zu athmen bekommt. Allen diesen Fällen ist gemeinsam, dass die Erregbarkeit des Athemapparates gleichzeitig mit Wachsen des Athemreizes gesunken ist. So lange der Athemreiz zunimmt, reicht er auch bei sinkender Erregbarkeit aus, um Athembewegungen auszulösen. Wird dann aber plötzlich der Athemreiz stark verringert, so ist er für den vorhandenen Grad der Erregbarkeit zu schwach. Der Athemreiz wird in diesen Fällen nicht geringer sein, als der, welcher bei normaler Erregbarkeit normale Athmungen unterhält.

Das periodische An- und Abschwellen der Excursionsbreite des Thorax hat unverkennbare Aehnlichkeit mit dem Cheyne-Stokes'schen Phaenomen. Es repräsentirt offenbar die erste Andeutung desselben. Dieselbe Erscheinung hat neuerdings Knoll[3] beobachtet und Filehne sah schon früher Cheyne-Stokes'sches Athmen gleichzeitig mit Traube-Hering'schen Wellen des Blutdruckes bei stark morphinisirten Thieren auftreten. Letzterer Forscher

[1] W. Filehne, *Ueber das Cheyne-Stokes'sche Athemphaenomen.* Erlangen 1874. S. 29.

[2] J. Gad, *Ueber Apnoë.* Würzburg 1880. S. 11.

[3] Ph. Knoll, Athmung bei Erregung sensibler Nerven. *Wiener Akademische Sitzungsberichte.* Bd. XCII. S. 306.



hat bekanntlich auf diese Gleichzeitigkeit des Auftretens eine Theorie gegründet, nach welcher beide Erscheinungen, periodisches Athmen und Traube'sche Wellen, sich gegenseitig bedingen sollen. Nach dieser Theorie wäre der Zusammenhang folgender: Durch das Narkoticum ist die Erregbarkeit des Athemapparates stark herabgesetzt, die Athmung wird klein und setzt ganz aus. Dadurch wird das Blut stark venös, es regt zuerst das vasoconstrictorische Centrum zu stärkerem Tonus an, damit verringert sich der Blutzufluss zur Medulla oblongata und der Reiz wächst auch dort bis zu der für den geringen Grad von Erregbarkeit erforderlichen Höhe an; es kommt ein neuer Athemanfall, während desselben wird das Blut wieder stark arterialisirt und hört zuerst auf als Reiz für die Vasoconstriction, dann als Reiz für die Athmung zu wirken und so fort.

Unsere Erfahrungen enthalten Nichts, was zu Gunsten der Theorie von Filehne spräche, weder die zeitlichen Verhältnisse noch die Form der „periodischen" Athmung. Nach Filehne's Vorstellung müssten die einzelnen Athemanfälle beim Cheyne-Stokes'schen Phaenomen, welchen die Verstärkungen der Athemexcursionen bei unserem periodischen Athmen entsprechen, pneumatorektischer Art sein. Nach seiner Auffassung handelt es sich ja um ein periodisches An- und Abschwellen des Reizes. Wir haben aber schon oben gesehen, dass das Anschwellen und Abschwellen des Reizes bei periodischer Aërophthorie, wobei also periodische Pneumatorexis zu erwarten ist, eine wesentlich andere Athemform hervorruft, als sie unser periodisches Athmen darbietet.

Fassen wir zum Schluss zusammen, was an praktischen Winken aus unseren Erfahrungen zu entnehmen ist. Das günstigste Urtheil über den jeweiligen Zustand nach starker Haemorrhagie wird sich ergeben, wenn man sieht, dass der Organismus dem Lufthunger, für den die Bedingungen doch vorhanden sein müssen, durch tiefe und häufige Athemzüge energischen Ausdruck giebt. Pneumatorektische Dyspnoë ist nach starker Haemorrhagie ein entschieden günstigeres Zeichen als eine scheinbar normale Athmung. So lange kräftige pneumatorektische Dyspnoë besteht, liegt Indication zur Transfusion noch nicht vor. Eine scheinbar normale Athmung fordert zu grosser Vorsicht auf, denn sie kann den Uebergang zu der oberflächlichen und hastigen bilden, die wir als hypokinetische bezeichnet haben. Letztere ist zwar nicht der unmittelbare Vorläufer des Todes, aber sie ist doch ganz insufficient und geht, wenn nicht eine Transfusion gemacht wird, wahrscheinlich in die synkoptische Athmung über, während deren seltenen, wenn auch tiefen Athemzügen das Leben auf das Aeusserste gefährdet ist. Eine während des Bestehens von hypokinetischer Athmung gemachte Transfusion führt fast sicher zu energischer pneumatorektischer Dyspnoë und damit zum Leben zurück. Durch eine im Beginn

der Transfusion auftretende Apnoë darf man sich im Handeln nicht irre machen lassen. Ist schon synkoptisches Athmen eingetreten, so muss man das Aeusserste durch eine Transfusion abzuwenden suchen. Aussichtslos ist dieser letzte Versuch nicht, wie wir gezeigt haben. Bei den geringen Hoffnungen aber, zu denen er Raum giebt, wird man ihn sofort mit künstlicher Athmung und der Reichung von Excitantien zu combiniren haben. Dann ist wenigstens das Gewissen beruhigt.

Hrn. Dr. Gad sage ich für die Anregung zu dieser Arbeit und für die mir bei Ausführung derselben geleistete Unterstützung meinen aufrichtigen Dank.

Erklärung der Curven.

Die Blutdruckcurven sind mit Fick's Blutwellenzeichner, die Athemcurven mit Gad's Aëroplethysmographen aufgenommen. Sinken der Blutdruckcurve bedeutet Steigen des Blutdruckes, Sinken der Athemcurve ausser in Curve 14 Inspiration. Die an die Blutdruckcurven angeschriebenen Zahlen bedeuten den der Curvenstelle entsprechenden Blutdruck in Mm. Hg.

Taf. XIII.

Curvengruppe I besteht aus den drei Curvenpaaren 1, 2, 3, welche unmittelbar nach einander aufgenommen sind. Gewicht des Kaninchens = 3510 ^{grm}. Chloralnarkose. Blutdruckcurve von der rechten Art. carotis geliefert. Von *a* bis *b* Aderlass, bei dem 73 ^{ccm} Blut fliessen. Von *c* bis *d* Transfusion von 60 ^{ccm} körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung in die rechte Art. cruralis. Um den inspiratorischen Charakter der die erste Haemorrhagie begleitenden (pneumatorektischen) Dyspnoë hervorzuheben, ist die Verbindungslinie der Exspirationskuppen in der Athemcurve 1 ausgezogen. Athemcurve 2: hypokinetische Athemform, Athemcurve 3: pneumatorektische Athemform. — Beispiel der Ueberführung hypokinetischer Athmung durch Transfusion in pneumatorektische.

Curvengruppe II. Vor Aufnahme der Curven 4 und 5 waren dem Kaninchen, dessen Gewicht nicht notirt ist, beide Vagi am Halse durchschnitten und schon ein Aderlass von 30 ^{ccm} gemacht worden. Von *a* bis *b* neuer Aderlass von 2 ^{ccm}. Bei *c* Transfusion. Curve 5 unmittelbar nach Curve 4 aufgenommen. Beispiel der Ueberführung synkoptischer Athmung durch Transfusion in pneumatorektische.

Curvengruppe III. Die Curven 6, 7, 8, 9 wurden unmittelbar hintereinander von einem 1560 ^{grm} schweren, nicht narkotisirten Kaninchen gewonnen, dem schon vorher zwei ergiebige Aderlässe gemacht worden waren. Von *a* bis *b* der dritte, von *c* bis *d* der vierte Aderlass. Beispiel synkoptischer (und terminaler) Athmung bei einem durch Haemorrhagie getödteten Thier.

Taf. XIV.

Curvengruppe IV umfasst die Curvenpaare 10, 11, 12, die unmittelbar hintereinander aufgenommen wurden. Gewicht des Kaninchens 1730 ^{grm}. Chloralnarkose. Blut-



druck in der linken Art. carotis. Von *a* bis *b* Aderlass von 40 ccm aus der rechten Art. carotis. Von *c* bis *d* Transfusion von 40 ccm körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung in die rechte Art. cruralis. Athemcurve 12: Beispiel hochgradiger hypokinetischer Athmung und Aufbesserung derselben durch Transfusion.

Curvengruppe V. Curvenpaar 13 stammt von demselben Thier wie die Curvengruppe IV. Zwischen den Curvenpaaren 12 und 13 hatte sich energische pneumatorektische Athmung entwickelt. Dann war ein neuer Aderlass von 17 ccm gemacht worden. In Folge davon die Traube-Hering'schen Blutdruckwellen und das periodische Athmen des Curvenpaares 13. — Curve 14 entstammt einem anderen Thier welches abwechselnd aus O-armer und athmosphaerischer Luft athmete, zum Vergleich der periodisch pneumatorektischen Athmung, mit der die Traube'schen Wellen begleitenden Athmung in Curve 13. Curve 14 ist mittels einer Methode gewonnen, bei der sich die Inspirationen durch Erheben und nicht wie in den übrigen Curven dieser Arbeit durch Senken der Curve aufzeichnen.

Curvengruppe VI stammt von einem 1500 grm schweren Kaninchen, dem vorher ein Aderlass von 40 ccm mit darauf folgender Transfusion von 60 ccm Kochsalzlösung und dann noch ein Aderlass von 15 ccm gemacht worden war. Die bei *a* darauf folgende Transfusion treibt den Blutdruck plötzlich in die Höhe und macht Apnoë. Zwischen 15 und 16 ist ein Trommelumlauf pneumatorektischer Athmung ausgelassen. In Curve 16 bei *b* Stich in den Noeud vital, in Folge dessen Uebergang des Thorax in die elastische Gleichgewichtslage. (Cadaverstellung.)

Ueber die Form der Kohlensäure- und Sauerstoffdyspnoë.

Ein Beitrag zur Lehre der Dyspnoëformen.

Von

Max Rosenthal.

(Aus dem physiologischen Institut zu Berlin.)

(Hierzu Taf. XV u. XVI.)

I. Einleitung und Methode.

Seit mehr als zwanzig Jahren werden von Zeit zu Zeit Experimente angestellt und Beobachtungen veröffentlicht, die sich mit den Veränderungen der Athmung bei Thieren, welche man aus sauerstoffarmer Luft oder aus Gemischen von Luft und Kohlensäure athmen lässt, beschäftigen. Bei allen derartigen Versuchen fand man in dem einen wie in dem anderen Fall eine tiefere und wohl auch häufigere Athmung als Ausdruck eines gesteigerten Athembedürfnisses der Thiere, die man als Dyspnoë zu bezeichnen pflegt.

Die einen Autoren, wie Rosenthal[1] z. B., glaubten nur den Mangel an Sauerstoff im Blut, die anderen, wie Traube[2] und Thiry z. B. nur die Kohlensäureüberladung des Blutes als hauptsächliches Moment der Dyspnoëanregung annehmen zu dürfen. Sauerstoffmangel in der Lungenluft konnte ja die Kohlensäureabgabe aus dem Blut beeinträchtigen und umgekehrt.

---

[1] I. Rosenthal, *Die Athembewegungen und ihre Beziehungen zum Nervus vagus*. Berlin 1862.

[2] Traube, *Gesammelte Beiträge zur Pathologie und Physiologie*. Bd. I; — Marcuse, *De suffocationis imminentis causis et curatione*. Berolini 1858. *Allgemeine Medicinische Centralzeitung*. 1862. Nr. 38 u. 39; — Thiry, Des causes des mouvements respiratoires et de la dyspnée. *Recueil des travaux de la société médicale allemande de Paris*. Paris 1865.



Endlich wurde der Streit zwischen Rosenthal und Traube von Pflüger und Dohmen zu Ende geführt, indem Dohmen, der unter Pflüger's Leitung in seinem Laboratorium gearbeitet hatte, eine Arbeit veröffentlichte, in der er nachwies, dass sowohl Sauerstoffmangel, wie auch Kohlensäureüberladung die Dyspnoë anregen. Dass Kohlensäureanhäufung in der Lungenluft nur die Kohlensäureabgabe aus dem Blut und nicht die Sauerstoffaufnahme beeinträchtige und dass Sauerstoffmangel in der Luft keinen Einfluss auf die Kohlensäureabgabe aus dem Blut habe, wurde von Pflüger[1] durch Blutgasanalysen zweifellos dargethan.

Die weiteren Untersuchungen auf diesem Gebiete von Seiten verschiedener Forscher, wie z. B. in Deutschland von Friedländer und Herter,[2] in Frankreich von P. Bert u. s. w., haben die Ergebnisse der Arbeiten von Pflüger und Dohmen bestätigt, und obwohl Rosenthal anfangs doch an den von ihm erhaltenen Resultaten festhalten wollte, musste er auch später die Anregung der Dyspnoë bei der Kohlensäureüberladung anerkennen, nicht ohne die Kohlensäureüberladungswirkung in's Hintertreffen zu rücken. Hiermit also wurde eine der wichtigsten von den die Entstehung der Athembewegungen betreffenden Fragen in dem Sinne erledigt, dass beide Blutgase — dass eine durch Verdünnung, das andere durch Verdichtung —, auf das in der Medulla oblongata liegende Respirationscentrum einwirken, indem sowohl ungenügende Sauerstoffzufuhr, wie auch übermässige Kohlensäureanhäufung im Blute auf das Respirationscentrum einen Reiz ausüben, der durch Vermittelung der zu den Athemmuskeln führenden Nerven eine Beschleunigung, Verstärkung und Vertiefung der Athemzüge, — also den Zustand, welchen wir mit dem Namen Dyspnoë bezeichnen, — hervorruft. Jetzt, nach Entscheidung dieser Frage, welche gleichzeitig einen groben Unterschied in der Wirkung beider Factoren derart kennen gelehrt hatte, dass hochgradiger Sauerstoffmangel viel heftigere Erscheinungen hervorruft und schneller zum Tode führt, als hochgradige Kohlensäureanhäufung — konnte man an die Erforschung feinerer Unterschiede, wenn solche bestehen sollten, gehen. Bernstein[3] war es, welcher auf Grund zahlreicher — und, wie wir später sehen werden, irrthümlicher Versuche an Kaninchen die Behauptung aufstellte, dass während die dyspnoische Wirkung des Sauerstoffmangels vorwiegend im inspiratorischen Sinne zu Stande kommt, die Kohlensäureüberladung dagegen

---

[1] E. Pflüger, Ueber die Ursache der Athembewegungen sowie der Dyspnoë und Apnoë. Pflüger's *Archiv*. u. s. w. Bd. I. S. 61.

[2] Friedländer und Herter, *Zeitschrift für physiologische Chemie*. 1878. Bd. II u. III.

[3] J. Bernstein, Ueber die Einwirkung der Kohlensäure des Blutes auf das Athemcentrum. *Dies Archiv*. 1882.

die Exspiration verstärkt, — eine Behauptung, die, wenn sie richtig gewesen wäre, allerdings als Beweis dafür hätte dienen können, dass die Kohlensäure und der Sauerstoffmangel von einander ganz unabhängig das Respirationscentrum beeinflussen, wie es auch von Miescher-Rüsch[1] hervorgehoben wurde.

Die Verschiedenheit der Formen der Kohlensäure- und Sauerstoffdyspnoë würde auch Bernstein die Berechtigung gegeben haben, als Schlussfolgerung anzunehmen, dass das sauerstoffarme Blut hauptsächlich als Reiz auf das Inspirationscentrum, das kohlensäurereiche Blut hauptsächlich als Reiz auf das Exspirationscentrum einwirkt, obwohl er den Unterschied der Dyspnoëformen bei Sauerstoffmangel und Kohlensäureüberladung erst nach Durchschneidung der beiden Nervi vagi deutlich zu sehen bekam.

Diesen Umstand sucht Bernstein zu erklären auf Grund der Hering-Breuer'schen Versuche[2] über die Wirkungen der Nervi vagi auf die Athembewegung, indem er das Ausbleiben ausgesprochen exspiratorischer Dyspnoë vor Vagusdurchschneidung auf reflectorische Steuerung des Exspirationscentrums durch Reizung der auf Verkleinerung der Lunge reagirenden Vagusendigungen schiebt. Dies wäre gerechtfertigt gewesen, einerseits dann, wenn es wirklich Beweise gegeben hätte, für die automatische — oder wie Gad es nennt autochthone — Erregbarkeit zweier Respirationscentren — sowohl eines Exspirationscentrums, wie eines Inspirationscentrums — und andererseits, wenn die von Hering und Breuer aufgestellte Erklärung der Selbststeuerung der Athmung durch Vermittelung der Nervi vagi in allem vollständig richtig wäre.

Hrn. Dr. Gad war schon früher die Existenz eines autochthon erregbaren Exspirationscentrums zweifelhaft gewesen. Ebenso hielt er die Hering'sche Lehre von der Selbststeuerung der Athmung durch die Nervi vagi nur zum Theil für gerechtfertigt, namentlich stimmte er Hering und Breuer nur in dem Theile ihrer Lehre, welcher „das Abschneiden der Einathmung durch die Einathmung selbst, nachdem eine gewisse, zweckmässige Tiefe erreicht war, ausspricht,“[3] also nur dem Theile der das Inspirationscentrum angeht.

Die Richtigkeit des zweiten Theiles der Hering-Breuer'schen Lehre, welcher aussagt, dass jedes exspiratorische Zusammenfallen der Lungen die In-

---

[1] F. Miescher-Rüsch, Bemerkungen zur Lehre von den Athembewegungen. *Dies Archiv.* 1885. Heft 5. 6.

[2] J. Breuer, Die Selbststeuerung der Athmung durch den Nervus vagus, vorgelegt von E. Hering. *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Wien.* 1868. Bd. LVIII. Abth. III.

[3] Johannes Gad, Die Regulirung der normalen Athmung. *Dies Archiv.* 1880. S. 26.

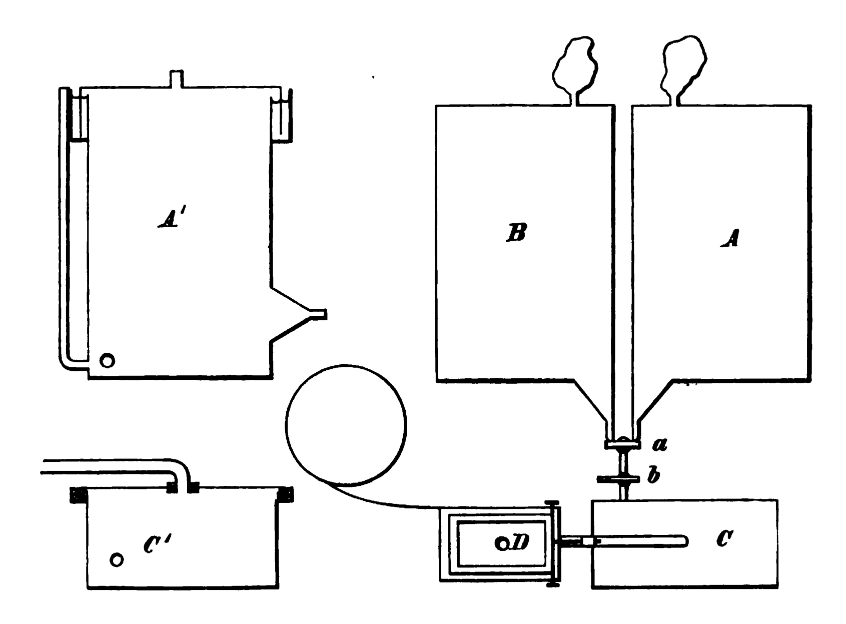


spiration anregen soll, bezweifelt Gad, indem er überhaupt keine autochthone Erregung der Exspiration annimmt, sondern die normale Exspiration nur als eine Nachwirkung der inspirationshemmenden Wirkung der Lungendehnung, nach deren Abklingen die Erregbarkeit des Inspirationscentrums wieder den ursprünglichen Werth bekommt, betrachtet. Auch anderen Autoren schien der zweite Theil der Hering-Breuer'schen Lehre nicht so deutlich, wie z. B. Miescher-Rüsch. Nach dem oben Gesagten ist es ganz selbstverständlich, dass die Schlussfolgerung, die Bernstein auf Grund seiner Versuche und auf Grund der Hering-Breuer'schen Lehre von der Selbststeuerung der Athmung aufstellte, Hrn. Dr. Gad von vornherein zweifelhaft erschien und um sich ein bestimmtes Urtheil über die Sache zu verschaffen, schritt er zur Anstellung derselben Versuche mittels des von ihm construirten Pneumatographen, welcher ihm in seinen Studien über die Athmung schon früher mehrmals gute Dienste geleistet hatte. Der vorzügliche Apparat versagte auch diesmal nicht. Die mit ihm ansgetellten Versuche ergaben ganz andere Resultate, wie sie Bernstein bekommen, aber eine Erkrankung verhinderte damals Dr. Gad seine Versuche fortzusetzen. Verschiedene Umstände verhinderten ihn auch später die Versuche wieder aufzunehmen, und erst im vorigen Sommersemester fing Hr. cand. med. Marcuse unter seiner Leitung von neuem die Versuche an, aber auch er musste die Arbeit plötzlich unterbrechen. Auf Hrn. Dr. Gad's Vorschlag unternahm ich es im letzten Wintersemester die Formen der bei Sauerstoffmangel und Kohlensäureanhäufung auftretenden Dyspnoë von neuem zu studiren und mir gelang es endlich die Arbeit unter seiner Leitung und mit seiner gütigen Unterstützung, für die ich mir erlaube ihm hiermit meinen besten Dank abzustatten, zu Ende zu bringen. Die Versuche wurden folgenderweise ausgeführt:

Schon zu den ersten Versuchen Gad's waren nach seinen Angaben zwei Blechkästen, von je 70 Liter Inhalt angefertigt worden, die auch für meine Versuche gedient haben. Unten, nahe dem Boden, befindet sich an den beiden Blechkästen je ein halbkonischer Ansatz. Auf diesen Ansätzen wurden zwei weite Kautschukröhren befestigt, die sich mittels eines Dreiweghahnes vereinigen. Von diesem Dreiweghahne geht wieder ein kleines Kautschukrohr ab, das sich mittels eines zweiten Dreiweghahnes mit dem mit der Trachealcanüle in Verbindung stehendem Kautschukrohr vereinigt. Der zweite mittlere Schenkel dieses zweiten Dreiweghahnes bleibt frei und ermöglicht bei passender Drehung des Hahnes die Communication der Trachealcanüle mit der äusseren Luft. Auf den entgegengesetzten Wänden der beiden Blechkästen befinden sich zwei Tubuli mit Hähnen, auf welche man während des Versuches je einen

dünnwandigen, wenig gefüllten, kleinen Kautschuckballon befestigt. Die Hähne werden beim Beginn des Versuches geöffnet und somit wird mit dieser kleinen zweckmässigen Einrichtung ermöglicht, dass die Gasgemische in den Blechkästen während des ganzen Versuches in jedem Moment unter Athmosphaerendruck stehen.

Das Kaninchen nimmt die normale Sitzlage in einem kleinen Blechkasten ein, wo es mittels eines Kopfhalters und Beinschlingen befestigt wird. Durch die eine Wand dieses kleinen Blechkastens führt ein, die Verbindung zwischen der Trachealcanüle und dem zweiten Dreiweghahn



vermittelndes Rohr. Der Deckel des Kastens wird in eine Rinne mit Glycerinthon luftdicht eingefügt. Durch den Deckel geht ein weiteres Glasrohr, welches mittels eines an Dr. Gad's Volumschreiber befestigten Kautschukrohres die Verbindung des kleinen Blechkastens mit diesem Apparat besorgt. Die beigelegte Zeichnung zeigt die Zusammenordnung der Apparate.

A und *B* die beiden grossen Blechkästen, *a* und *b* erster und zweiter Dreiweghahn, *C* der kleine Blechkasten in dem sich das Kaninchen befindet, *D* Gad's auf dem Princip des Spirometers beruhender „Aëroplethysmograph“.[1] Um genauer in den grossen Blechkästen ein beliebiges Gas-

[1] J. Gad, Ueber einen neuen Pneumatographen. *Dies Archiv.* 1879. S. 181.

gemisch darstellen zu können sind auf einer Seite der Kästen in Verbindung mit dem Boden der Kästen stehende Glasröhren angebracht, die uns den Stand des Wassers in den Kästen zeigen, und neben den Glasröhren je eine Papierscala, welche uns die Möglichkeit geben, die Menge des abgelassenen Wassers und somit auch die Menge des eingetretenen Gases abzuzählen. Das Wasserstandsrohr, sowie die Rinne für den Wasserverschluss des Deckels zeigt die den Querschnitt eines der grossen Blechkästen darstellende Skizze *A'*. Von dem Thierbehälter *C* zeigt Skizze *C'* einen Querschnitt. Der Deckel dieses kleinen Blechkastens wurde nach Einsetzen des Thieres mittels Glycerinthones in sehr bequemer Weise gedichtet. Die Gasgemische werden folgenderweise dargestellt: Die beiden Kästen werden voll mit Wasser gefüllt, die Scala neben den Glasröhren zeigen also 70 Liter Wasser in den Kästen. Dann wird, nehmen wir z. B. den Blechkasten, welcher mit Kohlensäuregemisch gefüllt wurde, während man einen neben den Boden des Kastens befindlichen Hahn öffnet, um den Abfluss des Wassers zu ermöglichen, der Hahn, welcher sich auf dem Deckel befindet geöffnet und eine gewisse Quantität Luft hereingelassen, deren Menge wir aus der Papierscala, die uns den Stand des Wassers im Kästen zeigt, abzählen können. Dann wird eine gewisse zur Herstellung eines bestimmten Procentgehaltes nöthige Quantität Kohlensäure hineingelassen, indem man einen kohlensäurebereitenden Apparat mit dem auf dem Deckel befindlichen Hahn mittels eines Kautschuckrohres vereinigt und das Wasser aus dem Kasten wieder abfliessen lässt, und endlich wird um den Gehalt des Luftkohlensäuregemisches auf 21 Procent Sauerstoff zu erhalten, eine dazu nöthige Quantität Sauerstoff aus einem Gasometer hereingelassen. Während dieser Proceduren wird der früher erwähnte Seitenhahn mit dem auf ihn befestigten dünnwandigen Kautschuckballon geöffnet, um das Gasgemisch unter Athmosphaerendruck zu halten.

Um genauer die in dem Kasten befindliche Menge Kohlensäure und Sauerstoff zu bestimmen werden ebenso wie vor, auch nach dem Versuch Gasanalysen ausgeführt, indem man in ein mit Quecksilber gefülltes unter das Niveau einer mit Quecksilber gefüllten Wanne tauchendes, mit einer Scala versehenes Glasrohr eine aus dem Blechkasten entnommene Quantität des getrockneten Gasgemisches bringt, die Menge des Gases abzählt und dann mittels ins Rohr hereingebrachter Kalilauge, bez. Kugeln von Pyrogallussäure, die Mengen der von Kalilauge, bez. Pyrogallussäure absorbirten Kohlensäure, bez. Sauerstoffes ermittelt. Die Quecksilberwanne hat nach unten eine röhrenartige Verlängerung, in welche das Absorptionsrohr vor den Ablesungen so tief eingesenkt wird, dass das Quecksilberniveau innen und aussen gleich hoch steht. Die Gasanalysen, welche für den vorliegenden Zweck nur bis auf ein Procent genau zu sein brauchten, liessen sich

auf diese Weise sehr schnell ausführen. Um den Sauerstoffgehalt in dem anderen Blechkasten herabzudrücken, hatte Hr. Dr. Gad denselben in Würzburg in eine Gasleitung eingeschaltet gehabt, welche vom Kasten zu einer mit pyrogallussaurer Kalilösung beschickten Waschflasche von da zu einem dickwandigen Kautschukballon, dann zu einer zweiten, wie die erste gefüllten Waschflasche und zurück zum Kasten führte. Der durch einen Wassermotor bewegte Ballon förderte soviel Luft vom Kasten durch die als Ventile wirkenden und den Sauerstoff absorbirenden Flaschen und zum Kasten zurück, dass im Laufe von 1 bis 2 Tagen der Sauerstoff aus dem Kasten bis auf einen kleinen Rest verschwunden war. Der im hiesigen Laboratorium zur Verfügung stehende Gasmotor arbeitete weit langsamer und da Hr. Dr. Gad die Wirkung eines Gemisches von Stickstoff mit wenig Sauerstoff in Würzburg schon genügend studirt hatte, schlug er mir vor, auf diese Methode zu verzichten und die sauerstoffarme Luft, wie Bernstein, durch Beimischung von Wasserstoff zu athmosphaerischer Luft herzustellen. Die Resultate, welche beide Arten von Sauerstoffverarmung der Luft geben, stimmen, wie zu erwarten war, überein.

II. Versuche.

Die ersten Versuche wurden nur mit Kohlensäuregemischen gemacht. Nach der Füllung des Kastens *B* mit bestimmten Quantitäten von Luft, Kohlensäure und Sauerstoff machte ich eine Gasanalyse, die mir den von mir gewünschten Procentsatz des Kohlensäuregehaltes ungefähr bestätigte. Die Analyse ergab 20 Procent CO_2, 21 Procent O. — Das tracheotomirte und mit Gad's Tracheal *T*-Canüle versehene Kaninchen wurde in den kleinen *C* Blechkasten hineingebracht, hier mit dem Kopfhalter und Beinschlingen befestigt, der Deckel aufgesetzt und mit Glycerinthon gedichtet und dann die Verbindung der Trachealcanüle mit dem Kautschukrohr an den Kästen *A* und *B* hergestellt; dabei wurde Hahn *b* so gestellt, dass das Thier aus der freien Luft athmet, Hahn *a* wurde nach der Seite des Kastens *B* geöffnet, d. h. die Verbindung zwischen der Trachealcanüle und Kasten *B* wurde nur durch den Hahn *b* abgesperrt, der nach dem in die freie Luft führenden Mittelschenkel offen stand. Bei Athmung des Thieres aus der freien Luft wird eine Athemvolumcurve (Taf. XV Curve 1) aufgenommen, in welcher die Erhebungen den Inspirationen entsprechen und deren Mittellinie horizontal verläuft, nachdem man die Herstellung eines stationären Wärmezustandes in dem Raume, wo sich das Thier befindet, abgewartet hatte. Während eine normale Athemcurve sich aufzeichnet,

wird durch eine schnelle Drehung des Hahnes *b* die Verbindung der Trachealcanüle mit dem Kasten *B* hergestellt, so dass das Thier jetzt nur aus dem mit dem 20 Procent Kohlensäuregemisch gefüllten Raum athmen kann (Taf. XV Curve 2 *a b*). Es ist keine plötzliche Aenderung der Athmung, die jetzt zum Vorschein kommt. Nur allmählich werden die Inspirationen von Athemzug zu Athemzug tiefer und tiefer bis sie in der Tiefe einen gewissen Grad erreicht haben, auf welchem sie stehen bleiben, wenn man das Thier weiter noch eine kurze Zeit aus dem Kohlensäuregemisch athmen lässt. Auch die die Exspirationskuppen verbindende Linie steigt oft in inspiratorischem Sinne; die Athemfrequenz wird vermehrt, aber nicht wesentlich. Derselbe Versuch wird wiederholt nach Durchschneidung der beiden Nervi vagi (Curve 3 und 4) und das Resultat bleibt abgesehen von der durch die Vagussection an sich bedingten charakteristischen Aenderung der Athemform, im Wesentlichen dasselbe. Ich sage im Wesentlichen, weil doch ein kleiner Unterschied existirt, namentlich dann, wenn man das Thier mit durchschnittenen Vagis eine längere Zeit aus dem Kohlensäuregemisch athmen lässt.

Dann bemerken wir in späteren Stadien, meistens ganz kurz und in einigen Fällen sogar unmittelbar nachdem wir durch die Drehung des Hahnes dem Thier wieder frische Luft zuführen, Erscheinungen, welche man beim ersten Zusehen als allmähliches Zunehmen der exspiratorischen Anstrengungen deuten könnte (vergl. Curve 8—12). Die anfangs etwas im inspiratorischen Sinne von der Mittellinie abgelenkte Verbindungslinie der Exspirationskuppen kehrt zur Horizontalen zurück und wohl auch darüber hinaus, also nach der exspiratorischen Seite hin. Diese Ablenkungen bekamen wir in zwei oder drei Versuchen auch vor Vagusdurchschneidung, aber sie waren sehr wenig ausgesprochen und nicht so deutlich wie nach Vagussection. Auch bei Versuchen mit Athmungen aus dem sauerstoffverdünnten Raume, sah ich dasselbe nach Durchschneidung der Vagi, also jedenfalls kann diese Erscheinung nicht als eine specifische Wirkung der Kohlensäureüberladung betrachtet werden. Und dann blieb doch die Tiefe der Inspirationen unverändert, auch nach Ablenkung der die Exspirationskuppen verbindenden Linie nach der exspiratorischen Seite hin; also als eine Zunahme der exspiratorischen Anstrengungen kann man gewiss die Ablenkungen nicht deuten.

Den Schlüssel zu der richtigen Deutung sieht Gad in den Erscheinungen liegen, welche auf Seite der Athmung bei Anstellung des Kussmaul-Tenner'schen Versuches zu beobachten sind.

Bekanntlich wird beim Kussmaul-Tenner'schen Versuch nach Unterbindung von drei Schlagadern des Kopfes bei dem Kaninchen keine erhebliche Veränderung der Athmung beobachtet und nur nach Unterbindung

der vierten Schlagader tritt eine heftige Dyspnoë ein, welche aber einen ganz anderen Charakter hat, als die Dyspnoë, welche wir bekommen, wenn wir das Thier aus kohlensäurehaltigen und sauerstoffverdünnten Räumen athmen lassen, oder wenn wir überhaupt die Athmung des Thieres beeinträchtigen durch Anwendung anderer aërophtorischer Mittel. Anstatt der Inspirationen, nehmen hier von Anfang an die Exspirationen an Tiefe zu, es entwickeln sich Athempausen in Exspirationsstellung, welche allmählich bei Abnahme der Tiefe der Athemzüge zunehmen bis die Athmung ganz stockt und das Thier abstirbt. Während der exspiratorischen Athempausen und nach dem letzten ganz flachen Athemzuge sind alle der Beobachtung zugänglichen Muskeln, namentlich auch des Bauches, ganz schlaff. Nach dem letzten Athemzuge befindet sich der Thorax in seiner Gleichgewichtslage und der Volumschreiber zeichnet eine Horizontale, die vollkommen dieser Gleichgewichtslage des Thorax entspricht und welche mit den Exspirationen der synkoptischen Athmung zusammenfällt. Wenn man diese Horizontale mit der Zeichnung der normalen, dem Verschluss der letzten Schlagader vorausgegangener Athmung vergleicht, findet man, dass die letzte weit in inspiratorischem Sinne von der ersten entfernt liegt.

Hier konnte also die Athemcurve in exspiratorischem Sinne ohne Zunahme der Exspirationsanstrengung abweichen, einfach wegen der durch die Haemostase in der Medulla oblongata bedingten plötzlichen Erlahmung des in der Medulla befindlichen Inspirationscentrums. Auch bei allen Ermüdungen des Athemapparates bekommen wir eine Abweichung in exspiratorischem Sinne — also es liegt viel näher anzunehmen, dass nicht die Exspirationsanstrengung, welche ja auch im Kussmaul-Tenner'schen Versuche nicht die Ursache der Abweichung in exspiratorischem Sinne war, sondern nur die Ermüdung, welche selbstverständlich nach jeder Dyspnoë, sei sie haemorrhagischer, aërophtorischer oder tracheostenotischer Natur, zu Stande kommen muss, die einzige Ursache der später auftretenden Abweichung der die Exspirationskuppen verbindenden Linie nach der exspiratorischen Seite bei dyspnoischen Athmungen der Thiere ist, die man aus kohlensäurehaltigen oder sauerstoffverdünnten Räumen athmen lässt. Diese Annahme ist noch um so wahrscheinlicher, als die Abweichung bei der Kohlensäuredyspnoë viel ausgesprochener ist, als bei Sauerstoffdyspnoë; bei dieser letzten habe ich diese Erscheinung nur nach Vagusdurchschneidung zu sehen bekommen und da die Abweichung bei der Kohlensäuredyspnoë nach Vagusdurchschneidung viel ausgesprochener und constanter ist, als vor Vagusdurchschneidung, weil auch die Ermüdung nach Vagusdurchschneidung schon früher und stärker zu Stande kommen muss. Ausserdem sieht man aus dem Vergleich der Curven 8—12, dass der Grad der secundären exspiratorischen Ablenkung mit der Dauer (*a b*), wäh-

rend deren das Thier aus dem schädlichen Gemisch geathmet hat, zunimmt.

Die weiteren Versuche wurden angestellt theils nur mit Kohlensäureathmungen, theils nur mit Athmungen aus dem mit passender Quantität Wasserstoff gefüllten Blechkasten *A*, zum Theil auch wurden die Versuche angestellt, indem man dasselbe Thier vor und nach Durchschneidung der Vagi einmal aus dem Kohlensäuregemisch, das andere Mal aus dem Wasserstoffgemisch athmen lässt, aber immer wurde vorher, bei der Athmung des Thieres aus der freien Luft, ein Theil der normalen Curve aufgenommen und erst dann durch die plötzlichen passenden Drehungen der Hähne *a* und *b* der Zutritt der Gasgemische zu den Luftwegen des Thieres ermöglicht, um immer den Uebergang von der normalen Athmung zur dyspnoischen beobachten zu können.

Einige Versuche stellte ich so an, dass ich zuerst die Vagi durchschnitten hatte und dann gleich zum ersten Versuche schritt. Auf diese Weise bekam ich bessere Athmungscurven, weil die Thiere nicht schon früher ermüdet waren durch den Versuch vor Vagusdurchschneidung. Wie aber auch der Versuch modificirt werden mochte, stets bestand die erste Veränderung der Athemform beim Uebergang von Luftathmung zur Athmung aus kohlensäurereichem sowohl wie aus sauerstoffarmem Raum, nach wie vor Vagusdurchschneidung, in einer ausgesprochenen Vermehrung der Inspirationsanstrengung.

Meine sämmtlichen Versuche mit Ausnahme des ersten verliefen ganz glatt, ohne jede Störung. Bei dem ersten Versuch, welchen ich ohne Narkose anstellte, wurde das Thier bei der Athmung von 25 Procent CO_2 sehr unruhig und ich konnte keine Resultate erzielen. Einer zweckmässigeren Einrichtung des kleinen Blechkastens *C*, in den das Thier in seiner gewöhnlichen Lage gesetzt werden konnte und doch durch den Kopfhalter und Beinschlingen so befestigt wurde, dass es keine Bewegungen machen konnte, und den guten Verbindungen zwischen den Kästen *A* und *B* mit *C* und dem Kasten *C* mit dem Volumschreiber, sowie der Anwendung von Chloralnarkose, verdanke ich die Freiheit meiner übrigen Versuche von Störungen. Sowohl im Anfang, wie auch zum Schluss meiner Versuchsreihe, stellte ich Vergleichsversuche an, indem ich das Kaninchen zuerst aus der freien Luft athmen liess, eine Curve aufnahm und dann durch plötzliche Drehung der Hähne *a* und *b* aus dem Kasten *A* athmen liess, welcher mit gewöhnlicher Zimmerluft gefüllt war. Ich that das, um mir Einwände zu ersparen, dass die mechanischen Verhältnisse selbst dyspnoisch auf die Athmung einwirken könnten. Das Resultat dieses Versuches zeigt eine sehr unbedeutende Veränderung der normalen Athmung, also die mechanischen Verhältnisse spielten bei meinen bisherigen Versuchen keine in Betracht

kommende Rolle. (Taf. XVI, Curve 13.) Die Versuche wurden angestellt mit Kohlensäuregemischen von 25, 20, 16, 12, 10, 4 Procent und mit Wasserstoffgemischen von 6, 10 und 16 Procent Sauerstoffgehalt.

Die Kaninchen wurden durch subcutane Injection, theils mit einer halben, theils mit einer ganzen Grammspritze verdünnter Chloralhydratlösung (1 : 2) narkotisirt.

III. Vergleich der Methoden.

Jetzt wollen wir zur Frage übergehen, wie es möglich sein kann, dass Bernstein so abweichende Resultate bei seinen Versuchen bekam und dazu müssen wir die Vortheile und Nachtheile von Bernstein's und unseren Methoden ansehen. Bekanntlich hat Bernstein bei seinen Versuchen sich zweier Methoden bedient: der sogenannten Oesophagusmethode, welche zuerst von Ceradini in Leipzig erfunden wurde und einer zweiten von Bernstein genannten „Spirographmethode“, die mit der von mir angewandten Gad'schen Aehnlichkeit hat.

Was die Oesophagusmethode betrifft, so wird von Bernstein selbst angegeben, dass diese Methode in vielen Fällen eine erhebliche Fehlerquelle zeigte, sobald die Cardia nicht genügend schloss. Und wenn wir die durch diese Methode gewonnenen Curven ansehen und die Erklärung der Tafeln durchlesen, sehen wir, dass die Oesophagusmethodecurven überhaupt nicht so zuverlässig sein können, weil bei jeder Dyspnoë, sei sie von Wasserstoffgemisch oder von Kohlensäure entstanden, ebenso die Inspirationen wie die Exspirationen weit über die Nulllinie herausgehen und es schwer ist sich eine Vorstellung zu machen, ob die Exspirationen oder Inspirationen überwiegen. Und dann in der Erklärung der Tafeln steht bei der Anwendung der Oesophagusmethode einmal, dass die Cardia nicht gut schloss, da hindert das Schreien des Thieres, da „würde“ diese Linie als Abscisse gelten können, „wäre“ ein Schluss des Hahnes in der Ruhestellung des Thorax ausführbar u. s. w. Was die Anwendung des Bernstein'schen Spirographen betrifft, so ist dieser Apparat viel zweckmässiger und zuverlässiger als die Oesophagusmethode, aber im Vergleich mit der Gad'schen Methode, hat auch er Nachtheile, indem man den Uebergang von der normalen zur dyspnoischen Athmung nicht beobachten kann, was eigentlich beim Studium der Dyspnoë das Wichtigste ist, da der Uebergang uns die directe Wirkung der dyspnoëanregenden Ursache zeigt. Wenn wir auch die mit dem Spirographen erzielten Curven ansehen, bemerken wir auch hier, dass diese Curven für die exspiratorische Wirkung der CO_2-Dyspnoë nicht so massgebend sind. Bei einigen Curven zeigt die CO_2-Dyspnoë sogar stärkere Inspirationen (was auch Bernstein selbst zugiebt), in den anderen sind

bei CO_2-Dyspnoë die Inspirationen verstärkt, aber auch die Exspirationen sind verstärkt und verlängert und die Inspirationen steigen viel höher, als die Exspirationen sinken. Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse bei der Gad'schen Methode. Hier sind wir im Stande von A bis Z den Uebergang der normalen Athmung zur dyspnoischen und dann zurück der dyspnoischen zur normalen zu sehen, ohne die graphische Aufnahme des Versuches zu unterbrechen. Die Ablenkungen der Curven sind leicht übersichtlich und jede auch noch so grosse Volumänderung des Thorax ändert Nichts in den Versuchsbedingungen wegen der indifferenten Gleichgewichtslage des Gad'schen Athemvolumschreibers, während Marey's Luftkapseln, die Bernstein zur Aufzeichnung der Curven anwandte, eine bestimmte, elastische Gleichgewichtslage besitzen und ihre Empfindlichkeit je nach der Entfernung aus dieser Lage verschieden ist. Was die mechanischen Verhältnisse anbetrifft, so habe ich schon früher erwähnt, dass ich Vergleichungsversuche anstellte, die die Abwesenheit jedes mechanischen Hindernisses bewiesen, was man auf den beigelegten Curven genau sehen kann. Der Hauptgrund für die Abweichung der Resultate Bernstein's von den unsrigen liegt wahrscheinlich darin, dass es ihm nicht wie uns vergönnt war, die Dyspnoë in ihrer Entwickelung zu verfolgen.

IV. Schlussfolgerungen.

Als Schlussfolgerung können wir auf Grund unserer Versuche Folgendes aufstellen.

Ueberladung des Blutes mit Kohlensäure wirkt ebenso wie Mangel an Sauerstoff auf das Inspirationscentrum erregend, und wenn es einen Unterschied zwischen den Wirkungen der Kohlensäureüberladung und des Sauerstoffmangels giebt, so tritt er nur in zwei Grenzfällen hervor, indem 1. bei sehr geringen Abweichungen der CO_2- und H-Gasgemische von der Norm der gleiche procentische CO_2-Ueberschuss stärker Dyspnoë erregend wirkt, als der entsprechende Sauerstoffmangel und 2) die Athmung aus reiner CO_2 ganz andere Dyspnoë hervorruft, als die Athmung aus reinem H oder N. Ein von mir angestellter Versuch mit einem Kohlensäuregemisch von 3 bis 4 Procent und einem Wasserstoffgemisch, in dem der Sauerstoffgehalt nur bis auf 16—17 Procent herabgedrückt war, zeigte, dass die Athmung aus dem 4 Procent CO_2 enthaltenden Raume schnell und ganz sichtbar im inspiratorischen Sinne dyspnoisch wurde, während bei 16—17 Procent Sauerstoff die Dyspnoë nicht so ausgesprochen war. (Curve 15—17.) Man dürfte daraus schliessen, dass CO_2-Anhäufung specifisch ein stärkerer Reiz für das Inspirationscentrum sei, wie Sauerstoffmangel, aber nur dann, wenn die Bedingungen für die Sauerstoffaufnahme

durch das Blut bei 17 Procent Sauerstoff enthaltender Einathmungsluft die gleichen wären, wie die Bedingungen für die Ausscheidung der Kohlensäure bei einer 4 Procent Kohlensäure enthaltenden Einathmungsluft.

Immerhin kann man daraus den Schluss ziehen, dass in einem Raum, wo zugleich eine geringe Kohlensäureanhäufung und ein entsprechender Sauerstoffmangel existiren, als Dyspnoë erregende Ursache der Gehalt der Einathmungsluft an Kohlensäure betrachtet werden kann.

Was die Veränderung der Athmung beim Einathmen reiner Kohlensäure betrifft, so habe ich in meinen Versuchen nur die Angaben von Berns[1] bestätigt gesehen. Bekanntlich hat Berns bei seinen unter Donders' Leitung angestellten Versuchen mit tracheotomirten Kaninchen, die er aus reiner Kohlensäure einathmen liess, gefunden, dass der erste CO_2 enthaltende Inspirationszug stark vertieft war und dann sich eine starke Dyspnoë entwickelte. Diesen ersten, stark vertieften Inspirationszug betrachte er als primäre reflectorische Wirkung und die sich entwickelnde Dyspnoë als secundäre, von Einwirkung des veränderten Blutes auf das Centrum selbst abhängende Wirkung. Drei Jahre nach dem Erscheinen der Berns'schen Arbeit veröffentlichte Knoll in den Wiener Sitzungsberichten, Band LXVIII. Abth. 3. 1873, eine Arbeit: „Ueber Reflexe auf die Athmung bei Zufuhr einiger flüchtiger Substanzen zu den unterhalb des Kehlkopfes gelegenen Luftwegen," wo er angiebt bei seinen mit Athmung aus reiner Kohlensäure angestellten Versuchen die primäre Wirkung der Kohlensäure nicht gefunden zu haben, sondern, dass die ersten Athemzüge nach Beginn der Kohlensäurezufuhr entweder ganz unverändert, oder ein wenig vertieft und dabei etwas beschleunigt waren, und dass gewöhnlich erst beim vierten Inspirationszug nach Beginn der Kohlensäurezufuhr ein sehr tiefer und stark verlangsamter Athemzug eintrat (a. a. O. S. 267).

Auf Hrn. Dr. Gad's Veranlassung unternahm ich die Controlirung der Wirkung der reinen Kohlensäureeinathmung mittels seines Athemvolumschreibers.

Die Versuche wurden folgendermaassen angestellt. Die Verbindung zwischen den Hähnen *a* und *b* wurde gelöst und am Hahne *b* ein mit reiner Kohlensäure gefüllter Kautschukbeutel befestigt. Der Hahn *b* wurde so mit einem Elektromagnet verbunden, dass bei der Drehung des Hahnes, welche den Zutritt der CO_2 ermöglichen soll, der elektrische Strom sich schloss, und der Elektromagnet auf der Trommel eine Erhebung zeichnete.

Die Kohlensäure wurde einem Gasstrom entnommen, der durch Aufgiessen von Salzsäure auf Marmor erzeugt war. Bevor der Gasstrom in

[1] S. Berns, Over den invloed van verschillende Gassen op de Adembeweging. *Onderzookingen gedaan in het Physiol. Labor. der Utrechtsche Hoogeschool.* 1870. 2° Reeks III.



den Kautschukbeutel gelangte, musste er eine mit Wasser gefüllte Woulf'sche Flasche und eine Flasche mit starker Arg. nitr. Lösung passiren, um somit Sicherheit zu bekommen, dass das CO_2-Gas ganz rein von Salzsäuredämpfen war. Bei allen meinen Versuchen an Thieren mit erhaltenen Vagis war schon der erste Inspirationszug direct nach der schnellen Drehung des Hahnes vertieft, dann folgten 2 oder 3 kleine schnelle Athmungen, dann kam noch ein stärker vertiefter Zug und es entwickelte sich eine hochgradige inspiratorische Dyspnoë, welche, was besonders auffallend ist, von einer starken Abweichung der ganzen Athemcurve in inspiratorischer Richtung begleitet war. (Curve 18 und 23.) Nach Durchschneidung der Vagi ist die secundäre Wirkung in gleichem Maasse ausgesprochen, die primäre aber sehr zweifelhaft (Curve 19—21). Der ebenso geleitete Versuch mit Einathmung von reinem Wasserstoff ergab nur inspiratorische Dyspnoë ohne regelmässige plötzliche Vertiefung eines der ersten Athemzüge. (Curve 22.) Ein Vergleichsversuch mit der Athmung des Thieres aus dem Kautschukbeutel, mit gewöhnlicher Luft gefüllt, ergab keine Veränderung der Athmung, selbstverständlich wenn man das Thier aus dem Beutel nur einige Athemzüge machen lässt.

Auf Grund aller unserer Versuche mit Berücksichtigung der unter unseren Augen und unter Gad's Leitung angestellten Versuche von E. Holovtschiner[1] über die Wirkung des Aderlasses auf die Athmung, von Hrn. Hoisholt, über die tracheostenotische Dyspnoë und mit Berücksichtigung der Arbeiten über Dyspnoë anderer Autoren, welche die inspiratorische Dyspnoë auch bei Einwirkung anderer Gase, wie Chloroform, Ammon. u. a. m. bekamen, können wir wohl den Schluss fassen, dass die Aenderungen des Gasgehaltes des Blutes, soweit sie in die Breite des physiologischen Geschehens fallen, erregend nur auf das Inspirationscentrum und nicht auf das Exspirationscentrum wirken. Das zweite, was sehr wahrscheinlich ist nach Ermittelung der Wirkung der CO_2, ist das, dass der Factor, welcher zur Auslösung der normalen Inspirationsbewegungen dient und die Athmung innerhalb der Breite des Normalen dem vermehrten Bedürfniss des Organismus an Gaswechsel anpasst, ausschliesslich Kohlensäure ist, was auch Miescher-Rüsch[2] für wahrscheinlich hält.

Schliesslich ist es mir eine angenehme Pflicht Hrn. Dr. Gad für seine bereitwillige Unterstützung nochmals meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

[1] S. oben S. 232.

[2] A. a. O. S. 373.

Erklärung der Curven.

Alle Curven sind mit Gad's Aëroplethysmographen bei einer solchen Versuchsanordnung aufgenommen, dass Erhebung der Curve Inspiration, Senkung Exspiration bedeutet.

Taf. XV.

Die **Curven 1—4** stammen von einem 1350 grm schweren Kaninchen. Curve 1: normale Athmung mit den für den Chloralschlaf charakteristischen, exspiratorischen Pausen. In unmittelbarem Anschluss daran Curve 2: worin von *a—b* Athmung aus 20 procentiger CO_2, 21 procentigem O. Curve 3: Athmung nach Vagusdurchschneidung mit den typisch verlängerten Inspirationen. Curve 4: worin von *a—b* Athmung aus 20 procentiger CO_2, 21 procentigem O.

Curve 5. Gewicht des Kaninchens 1470 grm, von *a—b* Athmen aus 6 procentigem O bei erhaltenen Vagis.

Curve 6. Gewicht des Kaninchens 1965 von *a—b* Athmen aus 10 procentiger CO_2, 21 procentigem O bei erhaltenen Vagis.

Curven 7—12 stammen von einem 1900 grm schweren Kaninchen, alle nach doppelseitiger Vagusdurchschneidung in Curve; 7 von *a—b* Athmen aus 6 procentigem O, in allen übrigen aus 10 procentiger CO_2, 21 procentigem O.

Taf. XVI.

Curve 13. Gewicht des Kaninchens 1350 grm, von *a—b* jedesmal Athmen aus dem mit Zimmerluft gefüllten Kasten.

Curven 14 und 15. Gewicht des Kaninchens 1750 grm, Curve 14 normale Athmung, (die kleinen Störungen rühren von Unregelmässigkeiten im Gange der Trommel). Unmittelbar darnach Curve 15: worin von *a—b* Athmen aus 17 procentigem O.

Curven 16 und 17. Gewicht des Kaninchens 1370 grm. Curve 16 von *a—b* Athmen aus 4 procentiger CO_2, Curve 17 aus 16 procentigem O.

Curven 18—21 stammen von einem 1150 grm schweren Kaninchen. Jedesmal von *a—b* Athmen aus reiner Kohlensäure und zwar in Curve 18 vor, in Curven 19—21 nach beiderseitiger Vagusdurchschneidung.

Curven 22 und 23. Gewicht des Kaninchens 1350 grm. Vagi erhalten. Jedesmal von *a—b*: in Curve 22 Athmen von reinem H, in Curve 23 von reiner CO_2.

Beschreibung eines Herzphantoms aus Gummi.

Von

J. Tereg,
Docenten in Hannover.

(Hierzu Taf. XVII.)

Vielfach wird angenommen, dass die Ventrikel während der Diastole eine saugende Kraft entfalten. Für diese Ansicht, welche Magendie bereits im Jahre 1837 entwickelte, glaubte L. Fick [1] eine Bestätigung durch ein Experiment am anatomischen Praeparat zu finden. Todte Herzen vom Menschen, Schaf und Kalb unter Wasser gebracht, rhythmisch zusammengedrückt und wieder freigegeben, liessen die Flüssigkeit in ähnlicher Weise durch die Herzhöhlen passiren, wie es im lebenden Zustand der Fall ist. Es wird hier beim Nachlassen des Druckes eine saugende Kraft durch die Ventrikel entwickelt analog der Saugwirkung eines Gummiballons.

Allein solche Versuche gelingen, wie Rollet [2] hervorhebt, nur am todtenstarren Herzen. Diese Resultate dürfen nicht ohne Weiteres auf das lebende Herz übertragen werden, denn dieses ist im diastolischen Zustande weich, nachgiebig, in hohem Grade von dem Einfluss der Schwere abhängig und entbehrt einer bestimmten Gleichgewichtsfigur. Deshalb misslingen die Fick'schen Versuche auch an frischen, dem eben getödteten Thiere entnommenen Herzen. Für das Vorhandensein einer Saugkraft des Ventrikels in der Diastole schienen jedoch die Versuche von Goltz und Gaule [3] einen ausreichenden Beweis zu liefern. Genannte Forscher constatirten mittels eines Minimummanometers an dem nach Eröffnung des Brustkastens bloss-

[1] L. Fick, *Dies Archiv.* 1849. S. 283.
[2] Hermann's *Handbuch der Physiologie.* Bd. IV. Th. I. S. 181.
[3] Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1878. Bd. XVII. S. 100.

gelegten Herzen des Hundes einen im linken Ventrikel bis zu 23·5 mm Hg gehenden negativen Druck, der rasch nach der Systole auftrat. Bei Hunden welche natürlich athmeten, betrug der minimale Druck im linken Ventrikel sogar 52 mm Hg. Für dieses Phaenomen gelang es Moens[1] eine befriedigende Erklärung zu finden. Er weist darauf hin, dass der von Goltz und Gaule wahrgenommene negative Druck schon von Marey beobachtet und Vacuité postsystolique genannt wurde und führt ihn auf den leeren Raum zurück, welcher bei der plötzlichen Entleerung des Ventrikels entsteht. Aus den Erscheinungen an den Venen weist Moens nach, dass dieser negative Druck nicht mit der Diastole zusammenfällt, sondern mit der Systole und so lange besteht als die systolische Umformung des Ventrikels andauert. Von Ansaugen des Blutes durch die Atrioventrikularöffnungen könne keine Rede sein, da die durch die Papillarmuskeln herabgezogenen und fest geschlossenen Atrioventricularklappen zwischen den Herzwänden noch fester aneinander gepresst werden. Der negative Druck dauere übrigens nur kurze Zeit und schwinde bald durch das vollständige Aufeinanderpressen der Wände der Ventrikel.

Nichtsdestoweniger üben die Ventrikel dennoch eine saugende Wirkung aus und zwar während der Systole. Allerdings wird die Saugwirkung nicht direct, sondern indirect vermittelt. Dieselbe ist als eine Folge der relativen Ortsveränderung der Atrioventriculargrenze zu betrachten. Die Behauptung, dass die Locomotion der Basis des Herzens im Momente der Systole eine saugende Wirkung ausübt, wurde schon von Purkinje 1843 und Nega 1851 aufgestellt und hat Weyrich die von der Respiration unabhängige Herzaspiration, welche sich durch eine mit der Vorhofdiastole (synchron mit Ventrikelsystole) zusammenfallende Spannungsabnahme in den Jugularvenen kundgiebt, genauer untersucht. Ebenso gelang es Mosso den mit der Ventrikelsystole coïncidirenden Jugularvenenpuls unzweifelhaft nachzuweisen. — Die angedeutete Ortsveränderung der Herzbasis tritt in der Weise in die Erscheinung, dass bei der Systole der Ventrikel die Kreisfurche sich der Herzspitze, welche nahezu ihre Lage beibehält, nähert. Bei der Diastole der Ventrikel ist dagegen das Umgekehrte zu beobachten: die Herzbasis rückt wieder nach der Wirbelsäule hinauf.

Diesen, namentlich auch durch Rollett vertretenen Thatsachen trägt keiner der bisher zur Demonstration des Blutkreislaufes gebräuchlichen Apparate genügend Rechnung. Selbst ein dem Thierkörper entstammendes Herz ist nicht geeignet die Bewegungen der Atrioventriculargrenze und deren Wirkung zu veranschaulichen. Gewöhnlich ist die Musculatur grosser Herzen (Pferd, Rind) besonders des linken Ventrikels im todtenstarren Zustande

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1879. Bd. XX. S. 517.

so wenig nachgiebig, dass eine einigermaassen ausgiebige Abwärtsbewegung der Kreisfurche in der Richtung nach der Herzspitze unausführbar wird. Ausserdem gelingt es auch nur durch besondere Vorrichtungen die grossen Gefässe derart zu befestigen, dass die bei Ventrikelsystole eintretende physiologische Verlängerung der Arterienwände demonstrirt werden kann.

Diese Schwierigkeiten legten den Gedanken nahe, durch Combination zweier Gummiballons, bei systolischer Umformung des Ventrikels unter Einwirkung von aussen angreifender Kräfte, eine der Diastole entsprechende synchrone Volumenvergrösserung des anderen, das Atrium darstellenden Ballons zu erzielen.

Gleichfalls erschien es zweckentsprechend, sich möglichst eng an die Form der durch das Herz dargestellten beiden Saug- und Druckapparate anzuschliessen. Auf Grund dieser Ueberlegung wurde der Versuch gemacht, die einzelnen Abtheilungen des Herzens in Gummi abzuformen, was auch mit Hülfe des Hrn. Engel, Werkmeister in einer hiesigen Gummiwaarenfabrik, gelang.

Zunächst musste das gesammte Herz (vom Rind) injicirt werden. Die Injection geschah mit Gypsmasse von den Venae pulmonales und der Vena cava inferior aus, worauf die rechte. Herzhälfte von der linken in der Weise abgetrennt wurde, dass sich die Septa, der Stärke der Seitenwandungen entsprechend, auf die beiden Hälften vertheilten. Die Atrien, ebenso die Ventrikel dienten, nachdem sie ebenfalls durch Querschnitte isolirt waren, zur Herstellung von zerlegbaren Gypsformen. Um die in die Atrien hinein und aus den Ventrikeln herausführenden Gefässe zu vereinfachen, wurden sämmtliche überzählige bis auf je eines abrasirt und theilweise (Vena pulmonalis) durch von aussen aufgelegte Gypsmasse verstärkt. Zur Herstellung der abzuformenden Gummiballons musste ein Stück Patentgummi von entsprechender Stärke derart zurechtgeschnitten werden, dass die Summen der einzelnen Flächenstücke die hohlen Gypsformen möglichst genau von innen deckten. Nach der Verklebung der zu einander gehörigen Stücke mit Gummilösung kamen die, an den ausführenden Röhren mit einer Gummiplatte abgeschlossenen Einzelabtheilungen in die passenden Gypsformen und mit diesen in einen bis auf 40° R. angewärmten Ofen. Die sich ausdehnende Luft presst hierbei die gleichzeitig, erweichte Gummimasse gegen die Wände der Form, so zwar, dass selbst Details der Aussenfläche des Originals auf der Gummiform erscheinen. Das Abkühlen geschieht allmählich, worauf die Gummiformen durch Eintauchen in ein Gemisch von Schwefelkohlenstoff und Chlorschwefel vulkanisirt werden. Der linke Ventrikel und das rechte Atrium erhielten einen Ueberzug, bestehend aus einer dünnen durch Zinnober rothgefärbten Gummischicht um die functionell einander zugehörigen Abtheilungen wirksam hervortreten zu lassen. Als Surrogat für die Klappen

wurden durchweg sogenannte Lippenventile benutzt, wie solche bei Herstellung von Gummigebläsen Verwendung finden. Die Befestigung der Tricuspidal- und Mitralklappe wäre im Inneren der Ventrikel zu ermöglichen gewesen, jedoch mit Rücksicht darauf, dass etwaige Reparaturen nothwendig werden könnten, musste Bedacht darauf genommen werden, dieselben möglichst zugänglich anzulegen. Aus diesem Grunde wurden die genannten Ventile an der Atrioventricularfläche der Atrien angebracht. Dieselben sitzen kleineren Messingröhren auf, welche ihrerseits an den oberen Enden je eine, ziemlich breite Metallplatte tragen. Die erwähnten Platten entsprechen in ihrer Ausdehnung nicht ganz dem Umfang der zugehörigen Atrienbasis, so dass eine mit flüssigem Gummi bestrichene Gummiplatte den überstehenden Rand der Atrienbasis zu erreichen und der Metallplatte den nöthigen Halt zu geben vermag. An dem vom Ventil abgekehrten Ende der Metallröhre, unterhalb der in die Gummimasse versenkten Metallplatte ist ein Schraubengewinde eingeschnitten, welches in eine Mutterschraube hineinpasst, die ihrerseits mittels einer ähnlichen Platte, wie solche dem Ventil Halt verleiht, an der entsprechenden Basis der Ventrikel befestigt wurde. Hierdurch ist man in den Stand gesetzt, je ein Atrium auf den zugehörigen Ventrikel aufzuschrauben. Jene Ventile, welche die Semilunarklappen zu ersetzen bestimmt sind, wurden unter Benutzung eines Gummipfropfes in die Aorta bez. Art. pulmonal. eingesetzt, die Ventilöffnungen der Peripherie zugekehrt. Mit Hülfe von Gummiringen und Draht sind an den Enden der vier, die Venen und Arterien darstellenden Schläuche Metallröhren festgelegt, welche fast das gleiche Lumen zeigen wie die Gummiröhren. — Sind Atrien und Ventrikel verbunden, so werden beide Herzhälften mit ihren zugehörigen Flächen aneinander gelegt und die provisorische Verbindung durch einen die Herzbasis umschlingenden, dünnen Gummiring hergestellt. Das Phantom ist nunmehr zu befestigen. Hierzu dient ein Holzgestell, das im Wesentlichen aus einem in der Mitte vertieften Grundbrett und einem durch vier Säulen getragenen, abnehmbaren Deckbrett besteht. In letzterem befinden sich die zum Durchlass für die Gefässe bestimmten vier Oeffnungen. Nachdem das Deckbrett auf die Gefässe aufgeschoben ist, kann die Herzspitze in die Vertiefung des Grundbrettes eingesetzt und das Deckbrett alsdann auf die oberen Zapfen der Säulen aufgestülpt werden. Um dem beim Betriebe nothwendigen, abwärts gerichteten Zuge den nöthigen Widerstand entgegenzusetzen, sind an den über die Oberfläche des Deckbrettes hervorragenden endständigen Metallröhren Messinghülsen aufgeschraubt, welche mit breiten Rändern auf Gummizwischenlagen aufgreifen. Diese, der schrägen Lage der Röhren entsprechend geschnittenen Gummiringe werden durch den von unten her wirkenden Zug mittels der Hülsenplatte gegen das Deckbrett angepresst und wirken auf diese Weise nach Art der sogenannten Pferdeschoner.

Das Ganze ist nunmehr soweit armirt, dass es mit Hülfe einer äusseren Kraft fungiren kann. Je nach Belieben lassen sich auf den Metallhülsen oben offene oder unter einander in verschiedener Combination verbundene Glas- oder Gummiröhren anbringen.

Nach Füllung der Hohlräume des Herzens mit Wasser von den Venen aus gelingt es schon durch die um die Herzbasis gelegten Hände in Folge eines nach abwärts gerichteten Druckes die gleichzeitige Saug- und Druckwirkung zu demonstriren. Noch müheloser gelangt man zum Ziel, wenn man sich einer auf der linken Seite der Tafel abgebildeten Handhabe bedient. Sie besteht aus einem in den zwischen Atrien und Ventrikeln befindlichen Spalt eingepassten Metallbügel, welcher nach den Seiten hin in zwei abgerundete Verlängerungen ausläuft. Die Befestigung des Bügels wird durch einen, in einem Charnier beweglichen, halbkreisförmigen Arm vermittelt. Selbstverständlich ist in diesem Falle der Bügel an der Atrioventricularfurche anzulegen, bevor das Deckbrett auf die Gefässe aufgeschoben wird.

Zur Herstellung der S. 268 erklärten Taf. XVII wurden zwei vom stud. med. vet. W. Eber angefertigte Originalphotographien benutzt.

Erklärung der Abbildungen.

Zur Erläuterung der Figuren auf Taf. XVII mag folgendes dienen.

Die Figg. 1—4, welche den Apparat in zerlegtem Zustande darstellen, zeigen die vier Herzabtheilungen:

Fig. 1. *A. d.* = Atrium dextrum.
Fig. 2. *A. s.* = Atrium sinistrum.
Fig. 3. *V. d.* = Ventriculus dexter.
Fig 4. *V. s.* = Ventriculus sinister.

Bei *A. d.* und *V. s.* (Fig. 1 u. 4) liegen Metallhülse und Gummizwischenlage dicht aneinander; bei *A. s.* (Fig. 2) ist die Zwischenlage etwas nach abwärts geschoben und bei *V. d.* (Fig. 3) beide ganz entfernt und unter dem rechts befindlichen Deckbrett (Fig. 5), dessen Löcher mit den Anfangsbuchstaben der zugehörigen Gefässe bezeichnet sind isolirt angebracht. Von *A. d.* und *A. s.* sieht man die nach unten gekehrten kleineren Metallröhren hervorragen, an deren Enden jene Ventile sitzen, welche die Tricuspidal- und Mitralklappen ersetzen. Bei *V. d.* (Fig. 3) erscheint an der rechts liegenden Fläche der Ventrikelbasis eine Oeffnung, in welche *A. d.* eingeschraubt wird. Links in der Tafel zeigt sich der etwas geöffnete Metallbügel (Fig. 6) und unterhalb *V. d.* das Grundbrett mit den im Grundbrett dauernd befestigten Säulen (Fig. 7).

Fig. 8 veranschaulicht den zur Benutzung hergerichteten Apparat mit Ausnahme der accessorischen Röhren. Dem Beschauer zugekehrt ist jene Seite des Herzens, welche im Thierkörper nach hinten und rechts gewendet liegt. Vertical gestellt erscheint der Sulcus longitudinalis dexter unterhalb des etwas schräg gestellten Metallbügels. Rechts vom Sulcus longitudinalis dexter liegt der rechte, links davon der linke Ventrikel. Oberhalb des Metallbügels befindet sich nach rechts gewendet das Art. dextr. mit einer einzigen Vena cava; nach links das Atr. sin., ebenfalls mit einer einzigen Vena pulmonalis. Die Aorta wird rechts, die Art. pulmonalis mit einem sehr geringen Antheil links von der Vena pulmonalis sichtbar. Ueber dem Deckbrett machen sich von rechts nach links die Metallhülsen der Vena cava, Aorta und Vena pulmonalis bemerklich.

Untersuchungen über die Zuckerbildung in der Leber.

Von

Prof. Dr. O. Langendorff.

(Hierzu Taf. XVIII.)

1. Der Strychnindiabetes.

Dass bei Fröschen durch Vergiftung mit Strychnin Diabetes erzeugt werden könne, hat Schiff[1] im Jahre 1859 gezeigt. Ich selbst machte im Frühjahr 1885 diese Beobachtung, ohne Schiff's Angaben zu kennen, und ich veranlasste Hrn. Dr. Franz Gürtler[2] sich mit dieser Form der Glykosurie genauer zu beschäftigen, da es mir schien, als ob sie geeignet sei, über das Wesen der experimentellen Glykosurien einige neue Aufschlüsse zu geben. Es sollte festgestellt werden, welchen Einfluss das Vorhandensein und der wechselnde Glykogenreichthum der Leber auf das Zustandekommen des Diabetes übt, welchen Antheil Musculatur und Nervensystem daran hat, welcher Art der nervöse Einfluss ist. Endlich sollten morphologische Untersuchungen der normalen und der dem diabetisch gemachten Thiere angehörenden Leber feststellen, ob mit der Glykosurie functionelle Veränderungen an den Leberzellen verbunden sind.[3]

Die Frösche (ausschliesslich R. esculenta) wurden in eine geringe Menge strychninhaltigen Wassers gesetzt;[4] nach 5—6 Stunden, oft auch früher,

[1] Schiff, *Untersuchungen über die Zuckerbildung in der Leber* u. s. w. Würzburg 1859. S. 98.

[2] Gürtler, *Der Strychnindiabetes.* Inaugural-Dissertation. Königsberg. 1886.

[3] Bei den letzterwähnten Untersuchungen hat mich Hr. cand. med. Moszeik freundlichst unterstützt.

[4] Es ist dies, wie ich schon aus Versuchen v. Wittich's wusste, die beste Methode, um lange andauernden Tetanus zu erzeugen. Hat man eine passende Dosis gegeben, und ersetzt man die geringe Wassermenge, in der die Thiere sich befinden,

war der Tetanus ausgebrochen, und der Harn enthielt Zucker. Der Harn wurde mehrmals am Tage durch Ausdrücken entleert. Seine Menge war zweifellos vermehrt. Der Zucker wurde durch die Trommer'sche Probe nachgewiesen; zur Sicherung des Befundes wurden daneben auch andere Reactionen, insbesondere die Gährungsprobe, benutzt.

Die ersten Beobachtungen geschahen Ende April 1885 an Fröschen, die seit September des vergangenen Jahres, also über sechs Monate im Keller aufbewahrt waren. Am 19. Mai wurde der letzte überwinterte Frosch geopfert. Bei keinem war der Strychnindiabetes ausgeblieben. Wir waren deshalb erstaunt, dass die Vergiftung (in Bezug auf den Harn) völlig versagte, als wir frischgefangene Frösche benutzten. Und so blieb es während des Frühjahres und während des grössten Theiles des Sommers, wahrscheinlich während der ganzen warmen Jahreszeit. Unter zahlreichen frisch eingefangenen Fröschen, die vom 12. Mai bis zum 21. Juli vergiftet wurden, war nur bei einem einzigen Glykosurie nachweisbar. Von da an bis Mitte September wurde nicht untersucht. Am 18. September zeigte sich bei zwei am 16. gefangenen Fröschen die Vergiftung wieder wirksam, und sie blieb es den ganzen Winter hindurch.[1]

Die Dauer und wie es schien auch die Stärke der Glykosurie war in den erfolgreichen Versuchen je nach der Jahreszeit verschieden. Das Maximum fiel in die Herbstmonate. Hier währte der Diabetes in der Regel 4—5 Tage, zuweilen sogar eine Woche und darüber. Je weiter der Winter vorschritt, desto kürzer wurde die Dauer; im Frühjahr enthielt der Harn durchschnittlich nur 1—2 Tage lang Zucker.

Nehmen wir an, dass der im Harn auftretende Zucker vom Leberglykogen stammt, so sind diese Einflüsse wohl verständlich. Die Leber der Herbstfrösche ist mit einem gewaltigen Glykogenvorrath beladen, der während des Winters allmählich verbraucht wird. Im Frühjahr und im Sommer enthält die Leber frischgefangener Frösche in der Regel nur Spuren oder gar keine Glykogen. Die im Keller überwinterten und im April und Mai untersuchten Thiere hatten alle trotz des halbjährigen Fastens noch kleine Glykogenvorräthe in der Leber.

Man wird vielleicht vermuthen, dass bei fortdauernder Strychninvergiftung die Glykosurie erst aufhöre, wenn der Glykogenvorrath oder die Giftwirkung zu Ende sei. Das ist merkwürdiger Weise nicht der Fall. Vielmehr

---

nicht oder nur theilweise durch frisches Wasser, so dass der Frosch immer das wieder resorbiren muss, was er ausscheidet, so gelingt es die Frösche weit über eine Woche im Krampf zu erhalten. Natürlich haben wir uns überzeugt, dass subcutan beigebrachtes Strychnin auch Diabetes macht.

[1] Vergl. hierzu Schiff's Angaben über den Piqûrediabetes bei Fröschen. A. a. O. S. 12. Im Sommer 1886 trat der Diabetes öfter auf.



ist die Leber in den meisten Fällen nach dem Ueberstehen der Glykosurie noch glykogenhaltig. Selbst die Leber überwinterter Hungerfrösche wies noch Spuren auf,[1] nachdem der Diabetes erloschen war; in den Lebern der Herbstfrösche waren sogar nicht unbedeutende Mengen vorhanden, die wir nach dem Brücke'schen Verfahren rein darzustellen vermochten. Freilich sind sie gegenüber den in einer normalen Herbstleber anzutreffenden Glykogenmassen gering.

Da an dem Erlöschen der Glykosurie auch nicht abnehmende Vergiftungsintensität Schuld sein konnte (das bewies der noch lange andauernde Krampf und die Unwirksamkeit neuer Strychnindosen[2]), so wird man annehmen müssen, dass ein gewisser Glykogenrest, dessen Menge sich nach dem vorhanden gewesenen Vorrath richtet, mit so grosser Zähigkeit von der Leberzelle festgehalten wird, dass er durch die an die Strychninvergiftung sich anschliessenden Vorgänge nicht frei gemacht werden kann.[3]

Den Einfluss der Jahreszeiten auf den Glykogengehalt der Leber und damit auch auf die Entstehung der Glykosurie kann man künstlich nachahmen. Es gelang bei frischgefangenen Sommerfröschen, die bei vollem Magen auf Eis gebracht und dort mehrere Tage gehalten wurden, so viel Glykogen zu ersparen, dass der sonst in dieser Zeit stets ausbleibende Strychnindiabetes zu Stande kam. Auch der umgekehrte Versuch gelang. Wir hielten glykogenreiche Winterfrösche 2—4 Wochen bei erhöhter Wärme. Die Brutkastentemperatur schwankte zwischen 25 und 32° C. Nach Ablauf der genannten Zeit erwies die Leber sich sehr verkleinert, sogar im Verhältniss zum Körpergewicht, das selbst bedeutend

---

[1] Zum Nachweis sehr geringer Glykogenmengen in Decocten, in denen wegen gleichzeitiger Anwesenheit von Zucker der Saccharificirungsnachweiss nicht ohne weiteres geführt werden kann, verwendet man mit grossem Vortheil die Jodprobe mit dem von Nasse empfohlenen Kochsalzzusatz. Ich versetze eine Jodjodkaliumlösung bis zum Eintritt hellgelber Färbung mit concentrirter Kochsalzlösung. Ein oder einige Tropfen der verdünntesten Glykogenlösung erzeugen, zu dieser Flüssigkeit hinzugefügt, eine deutliche Mahagonifärbung. Viele führen die Jodreaction so aus, dass sie der Glykogenlösung Jod hinzufügen (stärkere Lugol'sche Lösungen oder gar reines Jod). Für den Nachweis geringer Mengen ist diese Methode unbrauchbar. Man thut immer besser, umgekehrt die auf Glykogen zu untersuchende Flüssigkeit einer sehr verdünnten Jodlösung tropfenweise hinzuzufügen, deren Aussehen man dann leicht mit einer in einem gleichweiten Reagensglase mit gleichviel Wasser verdünnten ebensolchen Jodlösung vergleichen kann.

[2] Ist in Folge abnehmender Vergiftungsintensität die Glykosurie verschwunden, so können neue Strychnindosen sie wieder erzeugen. Hat dagegen die Glykosurie aufgehört, ohne dass die aus der Stärke des Krampfes zu beurtheilende Wirksamkeit des Giftes nachgelassen hat, so sind weitere Strychnindosen erfolglos.

[3] Auch in den Muskeln konnte nach tagelangem Strychninkrampf und überstandener Glykosurie noch Glykogen nachgewiesen werden.

abgenommen hatte, und in den meisten Fällen fast glykogenfrei. Strychninvergiftung führte nur einmal zu längerem Diabetes; in den übrigen Fällen blieb die Glykosurie entweder gänzlich aus, oder es trat nur ganz vorübergehend eine geringe Spur von Zucker im Harn auf. Auf diese letzteren Versuche, die solchen an hungernden Warmblütern an die Seite zu stellen sind, komme ich später noch zurück.[1]

---

2. Ist die gesteigerte Muskelthätigkeit an der Entstehung des Strychnindiabetes betheiligt?

Der bei Strychninvergiftung entstehende Diabetes ist insofern unerwartet, als man annimmt, dass bei der Muskelthätigkeit Kohlehydrate verbraucht werden. Man sollte deshalb glauben, dass es bei der Heftigkeit des Strychninkrampfes zu einem Zuckerüberschuss im Blute gar nicht kommen könnte. Man wird dann vielleicht umgekehrt die Möglichkeit erwägen, dass die Glykosurie eine Folge der verstärkten Muskelaction sei. Ich habe hier allerdings nicht im Auge die nicht ausreichend bewiesene Behauptung Ranke's, dass bei der Muskelthätigkeit Zucker entstehe. Man kann noch an andere Möglichkeiten denken. So könnte man sich vorstellen, dass bei heftiger Muskelthätigkeit ein durch sie entstehender leicht zersetzlicher Körper (etwa Milchsäure) durch seine Verbrennung den im Körper gebildeten Zucker vor Zerfall schützte, ihn ersparte, dass der Ueberschuss im Harn erschiene.

Jedenfalls musste die Bedeutung der Muskelkrämpfe für den Strychnindiabetes klargestellt werden. Man musste sie ausschalten. Zunächst scheint sich dazu Curare zu empfehlen. Doch ist bekannt, dass dieses Gift selbst Glykosurie macht. Das ist, wie wir uns überzeugten, wenigstens bei der von uns jetzt verwendeten Pfeilgiftsorte,[2] auch bei Fröschen der Fall. Doch bleibt diese Glykosurie nicht selten aus. Solche für unseren Zweck günstigen Fälle mussten benutzt werden. Wir vergifteten also Frösche, die in Folge der Curarevergiftung gelähmt, aber nicht diabetisch waren, mit Strychnin. Der Erfolg war der, dass trotz der Muskelruhe die Strychninvergiftung zur Glykosurie führte.

[1] Bei Kaninchen haben wir uns vergeblich bemüht, durch Vergiftung mit Strychnin Glykosurie zu erzeugen, obwohl bei diesen Thieren sonst sehr leicht Zucker im Harn erscheint. Die Versuche sind bei Gürtler (a. a. O. S. 26 und 27) beschrieben. Der Grund des Misslingens ist nicht klar.

[2] Ein früher im hiesigen Laboratorium angewendetes Curarepraeparat machte, bei Säugethieren wenigstens, keine Glykosurie (vergl. v. Wittich, Physiologie der Aufsaugung u. s. w. in Hermann's *Handbuch der Physiologie*. Bd. V. S. 393). Es lähmte auch nicht die Vagi.



Es sei hier eingefügt, dass zuweilen auch umgekehrt der nach Strychninvergiftung (im Winter) ausgebliebene Diabetes nach Einleitung der Curarenarkose erscheint. Vielleicht ist der Mechanismus der Glykosurie bei den beiden Vergiftungsweisen ein verschiedener.

In sehr einfacher Weise wird die Entbehrlichkeit der Muskelkrämpfe für das Zustandekommen des Diabetes folgendermaassen dargethan.

Bekanntlich lähmt Strychnin in grossen Dosen die motorischen Nerven. Diese Lähmung kann eintreten, ohne dass Krämpfe vorangegangen sind.[1] Diese grossen Dosen führen nun gerade so zur Glykosurie wie die kleinen; das Ausbleiben der Krämpfe verhindert den Eintritt des Diabetes nicht. Ja es wollte mir scheinen, als wäre die jetzt auftretende Glykosurie anhaltender und stärker gewesen, wie sonst. Vielleicht verbraucht also die thätige Musculatur einen Theil des überschüssig gebildeten Zuckers für sich selbst. Ich erinnere daran, dass nach Külz[2] stärkere Muskelanstrengungen die Zuckermenge im Harn von Diabetikern verringern. Jedenfalls aber ist die vermehrte Muskelaction nicht die Ursache der Glykosurie.

---

3. Ausschaltung der Leber.

So wahrscheinlich es war, dass der im Harn auftretende Zucker vom Leberglykogen und zwar nur von ihm stammte, so konnte die ausschliessliche Bedeutung der Leber für diesen Process nur durch Exstirpationsversuche dargethan werden. Bei zwölf Herbstfröschen wurde die Leber nach bekannter Methode entfernt. Elf davon wurden nach einigen Stunden oder auch Tagen mit Strychnin vergiftet.[3] Von ihnen starben vier nach mehrtägigem Krampf, ohne dass Harn von ihnen gewonnen werden konnte. Dagegen war bei sechs entleberten Thieren während des mehrere Tage andauernden Strychninkrampfes ein mehr oder minder reichlicher völlig zuckerfreier Harn vorhanden. Nur bei dem zuerst operirten Frosche, bei welchem die Exstirpation nicht ganz vollständig gelungen war, trat einmal eine Spur von Zucker im Harn auf. Ein zwölfter Frosch wurde nach der Entleberung mit Curare vergiftet; auch bei ihm blieb die Glykosurie aus.

In einigen anderen Fällen wurde die Strychninvergiftung eingeleitet,

---

[1] S. Bongers, *dies Archiv*. 1884.

[2] *Beiträge zur Pathologie und Therapie der Diabetes mellit.* Bd. I. S. 179 u. Bd. II. S. 177; — Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXIV. S. 44.

[3] Dieses Verfahren ist besser wie der von Schiff angestellte Versuch, durch den er nachwies, dass der durch Zuckerstich erzeugte Diabetes aufhört, wenn man die Leber unterbindet.

nachdem allein ein Leberlappen entfernt worden war. Hier trat Zucker im Harn auf, schwand aber schneller wie bei Normalfröschen.[1]

Aus diesen Versuchen folgt, dass das Vorhandensein der Leber für das Zustandekommen des Strychnindiabetes nothwendig ist, und dass sich die Stärke der Glykosurie nach der Lebermasse richtet.

---

4. Betheiligung der nervösen Centralorgane.

Nachdem gezeigt worden, dass für das Zustandekommen des Strychnindiabetes die Leber unerlässlich, dass Stärke und Dauer der Glykosurie von ihrem Glykogengehalt abhängig ist, woraus der ja auch durch zahlreiche andere Thatsachen gestützte Satz folgt, dass der Harnzucker vom Leberglykogen stamme, erhebt sich die Frage, wie der Einfluss der Strychninvergiftung auf den Glykogenumsatz zu denken sei. Dass hierbei die Vermittelung des Centralnervensystems in Anspruch genommen werde, scheint aus der sonstigen Wirkungsweise dieses Giftes einerseits und aus den bekannten Einflüssen der Centralorgane auf die Zuckerbildung andererseits zu folgen. Zu erörtern wäre der betheiligte Abschnitt des Centralnervenorgans und die Art seiner Wirksamkeit.

Was den Angriffspunkt anlangt, so wird man sein Augenmerk zunächst auf das classische Operationsfeld Bernard's, auf das Kopfmark,[2] lenken. Wir konnten indess dasselbe bei mehreren Fröschen vom Rückenmark abtrennen, ohne den Strychnindiabetes zu vereiteln; ja wir durften sogar das ganze oberhalb des Calamus scriptorius gelegene Centralorgan zerstören, ohne dass nach Strychninvergiftung die Glykosurie ausblieb. Selbstverständlich war darauf geachtet worden, dass nicht etwa die Operation selbst schon Diabetes herbeigeführt hatte, was freilich nur in einigen Versuchen der Fall war.

Das Rückenmark kann somit den Angriffspunkt für die Strychninwirkung abgeben, ob aber von ihm allein auch bei unverletztem Kopfmark die Wirkung ausgeht, ist schwer zu sagen. Für die Leitung von oben her ausgehender Impulse ist es jedenfalls nöthig; denn nach Ausbohrung des Rückenmarkes mit Schonung seiner obersten Partieen sahen wir in mehreren Fällen die Strychninvergiftung erfolglos werden. Dieser Versuch lehrt zu-

[1] Schiff konnte den Piqûrediabetes bei Fröschen durch Verkleinerung der Leber unterdrücken. (A. a. O. S. 81.)

[2] Ich glaube, dass diese von Goltz eingeführte Uebertragung von Medulla oblongata einem wirklichen Bedürfnisse abhilft. Die Bezeichnung ist treffend und kurz, und ist jedenfalls dem von Steiner vorgeschlagenen „Nackenmark" vorzuziehen.



gleich, dass das Gift nicht, wie man vielleicht vermuthen könnte, peripher, wie etwa an Leberzellen oder Lebernerven, angreift.

Welcher Natur ist nun der durch das Strychnin angeregte nervöse zur Leber hingeleitete Vorgang? Das ist eine Frage, die gleichermaassen auch für die Wirkungsweise des Zuckerstiches erhoben werden kann und bekanntlich hier viel discutirt ist. Gewöhnlich hat man sich mit einer vasomotorischen Erklärung beruhigt. Sowohl Bernard als Schiff haben, wie bekannt, angenommen, dass von dem Eingriff Gefässcentren betroffen werden, dass in Folge dessen Hyperaemie der Leber entstehe, dass der gesteigerte Blutlauf in der Leber zu vermehrter Zuckerbildung in ihr Anlass gebe. Für den Strychnindiabetes hat Schiff sich ganz ähnlich geäussert.

Gegen diese Annahme lassen sich mancherlei Bedenken erheben, zumal wenn man den Frosch in Betracht zieht. Ich will hier nicht in eine nähere Besprechung derselben eintreten, ich will auch die Hilfshypothesen nicht kritisiren, die nothwendig sind um zu erklären, wie der gesteigerte Blutstrom die Zuckerbildung in der Leber begünstigen könne. Ich begnüge mich mit der Anführung einer Beobachtung, die bis jetzt nicht genügende Beachtung gefunden hat. Sie rührt von Naunyn[1] her, der nach Ausführung des Zuckerstiches bei Kaninchen die Gallenabsonderung vermindert fand. Wäre eine Steigerung des Blutstromes in der Leber vorhanden gewesen, so hätte man den bekannten Untersuchungen Heidenhain's zufolge eine Vermehrung der Gallensecretion erhalten müssen. Der Versuch spricht eher für eine Verminderung der Circulation.

Für den Strychnindiabetes ist die Annahme einer Leberhyperaemie noch bedenklicher wie für die Piqûre. Die angewendeten Strychnindosen hätten an vasomotorischen Wirkungen höchstens Gefässverengerung, auch im Abdominalgebiete, erzeugen können. Um uns zu überzeugen, wie gering die Rolle ist, die das Blut bei diesen Processen spielt, entzogen wir einem Frosche durch Anschneiden der grossen Abdominalvene den bei weitem grössten Theil seines Blutes. Der Diabetes blieb aber nach Einleitung der Strychninvergiftung nicht aus. Das getödtete Thier war fast blutleer. Einem anderen wurde die Vena portae unterbunden, die Leber somit ihrer wesentlichsten Blutquelle beraubt; der Strychnindiabetes trat normal ein. In beiden Fällen konnte von einer Blutüberfüllung der Leber doch nicht mehr die Rede sein.

Schiff hat seine Ansicht dadurch zu prüfen gesucht, dass er durch Unterbindung der beiden Venae renales advehentes des Frosches den grössten

[1] Beiträge zur Lehre vom Diabetes mellitus. 1874. Separat-Abdruck aus dem *Archiv für experimentelle Pathologie* u. s. w. S. 29.

Theil des Blutstromes des Hinterkörpers der Leber direct zuleitete, sie also hyperaemisch machte. Glykosurie soll davon die Folge gewesen sein. Indess habe ich bei Wiederholung dieses Versuches keinen Zucker im Harn erscheinen sehen. Auch scheint es mir fraglich, ob durch die Unterbindung der Nierenpfortadern der Leberblutstrom vermehrt werden könne; denn das Blut, das diese Gefässe führen, erhält ja die Leber auch unter normalen Verhältnissen, nachdem dasselbe die Nieren passirt hat.

Ueberhaupt ist es unwahrscheinlich, dass beim Kaltblüter ein grösserer oder geringerer Grad von Blutversorgung einen erheblichen Einfluss auf chemische Vorgänge in den Geweben gewinnen könne.

Diese Bedenken, denen sich noch manche andere bei einer kritischen Durchsicht der experimentellen Warmblüterglykosurien hinzufügen liessen, rechtfertigen es, wenn man sich nach anderen Erklärungsversuchen für den Einfluss des Nervensystems auf die Zuckerbildung in der Leber umsieht.

Claude Bernard hat diesen Process, der, wie er mit Recht annimmt, fortwährend im Leben vor sich geht, und im Diabetes nur gesteigert ist, als einen secretorischen bezeichnet. Ich möchte glauben, dass er damit das Richtige getroffen hat.

Wir wollen hier zunächst ganz absehen von der Entstehungsweise des Glykogens in den Leberzellen, die, wie vielleicht in einer späteren Mittheilung ausgeführt werden soll, mancherlei Analogie mit den secretorischen Stoffmetamorphosen in anderen Drüsen darbietet. Die Ueberführung des schwer löslichen und indiffusiblen Glykogens in Zucker und der Abfluss dieses in's Blut ist wohl ein Vorgang, der anderen Absonderungsvorgängen an die Seite gestellt werden darf. Von der Hand zu weisen wäre dann freilich die vielverbreitete Annahme, dass es sich bei der Bildung des Zuckers um einen gewöhnlichen enzymatischen Act handle. Ein solcher bedürfte eines von der Lebersubstanz selbst oder vom Blute gelieferten diastatischen Enzymes. In beiden, im Blute wie in der Leber, ist aber der nachweisbare Enzymgehalt so geringfügig, dass man zweifelhaft sein kann, ob diese Gewebe wirksamer sind, wie alle möglichen todten Eiweissstoffe.

Ueberlasse ich eine ausgeschnittene nach gewöhnlicher Annahme todte Froschleber sich selbst bei nicht allzu geringer Zimmerwärme, so hat sich nach kurzer Zeit eine beträchtliche Zuckermenge aus dem Glykogen gebildet. Extrahire ich dagegen aus einer Froschleber ihr Enzym durch Glycerin, so vermag ich mit diesem Extracte nur sehr geringfügige diastatische Wirkungen auszuüben. Erst nach Stunden sieht man damit versetzte Glykogenlösungen schwache Zuckerreaction geben. Es besteht also ein Missverhältniss zwischen dem, was die Leberzelle leistet, und dem was ihr Extract leisten kann, während von einem Pankreas- oder Speicheldrüseninfus bereits ein Tropfen schnell und kräftig diastatisch wirkt. Nimmt man an, dass

in der Leber nicht gewöhnliche Enzyme im Spiel seien, dass vielmehr die Zuckerbildung ein Act der Zellthätigkeit sei, gebunden an das Leben der Zelle, so wird die Sache erklärlicher. Die Elementartheile der ausgeschnittenen Leber sind nicht todt; sie bewahren ihr Leben und ihre Lebensthätigkeit noch eine Zeit lang, stundenlang, vielleicht tagelang, und so entsteht in der ausgeschnittenen Leber noch Zucker.

Stellt man sich den Vorgang der Zuckerbildung in der Leber so vor, so wird auch eine directe Einwirkung des Nervensystems auf ihn nicht undenkbar erscheinen. Das Nervensystem würde zum Glykogenumsatz und zur Zuckersecretion in ähnlicher Beziehung stehen, wie die secretorischen Nerven anderer Drüsen zu den Vorgängen in diesen. Strychnin würde direct oder reflectorisch die Ursprünge dieser Lebersecretionsnerven erregen. Auch die Wirkung traumatischer Eingriffe in's Centralnervensystem wäre verständlich.

Das ist nun freilich alles Hypothese. Vielleicht gelingt es einmal, einen festen Boden für sie zu schaffen. Der vasomotorischen Erklärung ziehe ich aber die meinige entschieden vor.

---

5. Veränderungen der Leber, die durch den Strychnindiabetes herbeigeführt werden.

a) Der Leberzucker.

Die Froschleber enthält, wie Schiff angiebt, in der zweiten Hälfte des Winters keinen Zucker. Ich selbst habe in dieser Jahreszeit mehrere Lebern verarbeitet, ohne im concentrirtesten Extract eine Spur von Zucker nachweisen zu können. Auch nach mehrtägigem oder mehrwöchentlichem Verweilen der Frösche im Wärmekasten war ebensowenig Zucker vorhanden. Nach der Entfernung aus dem Thiere bildeten aber solche Lebern in kurzer Zeit (besonders bei Brutwärme) reichliche Zuckermengen. Ich glaube deshalb, dass der Zuckernachweis in der frisch untersuchten Leber nicht darum misslingt, weil die Leber in dieser Zeit, etwa aus Fermentmangel (Schiff) keinen Zucker bilden kann, sondern nur weil die Zuckerbildung so gering und der Blutstrom so schnell ist, dass es zu merklichen Ansammlungen von Zucker erst dann kommen kann, wenn die Leber der Circulation durch Ausschneiden entzogen oder wenn die Zuckerbildung gesteigert wird. In der That fand ich, als ich in denselben Monaten Froschlebern untersuchte, die diabetisch gemachten Strychninfröschen angehörten, in allen einen geringen aber deutlichen Zuckergehalt. Täuschungen durch post-

mortale Umsetzungen waren ausgeschlossen; denn erstens geschieht die Zuckerbildung der ausgeschnittenen Leber beim Frosch weit langsamer, als beim Säugethier, und zweitens wurden die Lebern aus dem lebenden in heftigem Krampfe sich befindenden Thiere ausgeschnitten und schleunigst in einer grossen Menge siedenden Wassers zerkocht.

b) Das Lebergewicht.

Sehr auffallend ist die Veränderung, die das Gewicht der Leber unter dem Einfluss des Strychnindiabetes erfährt. Die Froschleber ist im Herbst und im ersten Theile des Winters von auffallender Grösse und Schwere. Lebern, die fast 4 ^{grm}, ja sogar mehr wiegen, sind keine Seltenheit. Im Verhältniss zum Körpergewicht betrachtet kann das der Leber mehr als den zwölften Theil des ersteren betragen. Ein Organ, das $^1/_{12}$ des ganzen Körpers ausmacht, muss von ganz besonderer Bedeutung für die Zwecke des Organismus sein. Diese Bedeutung beruht wohl zweifellos darauf, dass die Leber die im Herbste sich füllende Vorrathskammer ist, von deren Inhalt das Thier während des Winters seine freilich nur geringen Ausgaben zu bestreiten hat. Es wäre sehr interessant, wenn solche Wägungen, wie sie hier mitgetheilt werden sollen, auch an anderen Orten angestellt würden, die keinen so langen Winter haben, wie Königsberg.

Der aufgestapelte Vorrath besteht hauptsächlich aus Glykogen. Seiner Menge verdankt die Leber ihr grosses Volumen und ihrer Schwere. Nimmt der Glykogenvorrath ab, so sinkt das Lebergewicht. Die schweren Lebern sind immer die glykogenreichsten; aus kleinem Lebergewicht darf man auf geringe Glykogenmengen schliessen. Die übrigen Zellbestandtheile sind in der Herbstleber auf ein Minimum reducirt.

Auch der Strychnindiabetes muss wegen des mit ihm verbundenen Verbrauches an Leberglykogen nothwendig zu einer Herabminderung des Lebergewichtes führen. In der That findet man nach überstandener Glykosurie die Leber verkleinert und dementsprechend das Lebergewicht nicht unbedeutend verringert. Nur in einem Falle überstieg dasselbe 2 ^{grm}, in allen übrigen war es 2 ^{grm}. In der hier folgenden Tabelle sind Leber- und Körpergewichte von Normal- und Strychninfröschen verzeichnet. Die erste Columne enthält die Ordnungszahl des Versuches, auf die später in der Erklärung der Abbildungen Bezug genommen ist, die fünfte den Lebergewichtsquotienten (Verhältniss des Körpergewichtes zum Lebergewichte $\frac{F}{L}$). Bemerkt sei, dass die hier mitgetheilten Wägungen erst Ende October begannen. Die Lebergewichtsmaxima scheinen von Mitte September bis Mitte October zu fallen.

Tabelle I.

a) Normalfrösche.

Nummer	Datum	Gewicht des Frosches (*F*)	Gewicht der Leber (*L*)	$\frac{F}{L}$
1	31. October 1885	49·9	2·85	17·2
2		54·9	4·34	12·6
3	2. November 1885	67·5	4·6	14·7
4		52·0	3·4	15·3
5	9. November 1885	60·5	2·73	22·2
6		44·4	3·65	12·2
7	9. December 1885	28·05	1·46	19·2
8		46·5	2·72	17·09
9		29·3	1·41	20·7
10	10. December 1885	44·8	2·09	21·4
11		41·53	3·56	11·66
12		44·9	3·87	11·8
13	28. December 1885	28·88	1·85	15·07
14	7. Januar 1885	48·1	1·72	27·9
15	16. Januar 1886	44·6	3·54	12·6
16	18. Januar 1886	51·02	1·87	27·2
17		35·92	2·5	14·3
18		40·27	1·74	23·1
19		34·53	1·35	25·4
20		42·58	2·1	20·2
21	16. Januar 1886	57·85	2·32	24·9
22	28. Januar 1886	47·4	2·83	16·7
23		37·82	1·64	23·06
24		33·29	2·1	15·8
25	18. März 1886	45·2	2·12	21·32
26		42·38	2·44	17·4
27		38·4	2·0	19·2
		Mittel	2·5	18·5
		Maximum	4·6	27·9
		Minimum	1·35	11·66

b) Diabetische Frösche.

Nummer	Datum.	Gewicht des Frosches *(F)*	Gewicht der Leber *(L)*	$\frac{F}{L}$
1	30. October 1885.	55·5	1·65	33·6
2	5. November 1885	47·38	2·22	21·3
3	6. November 1885	44·7	1·69	26·4
4	5. December 1885	49·3	1·99	24·77
5	8. December 1885	38·6	1·99	19·4
6	15. December 1885	40·84	1·71	23·88
7	17. December 1885	47·65	1·21	39·38
8	8. Februar 1886	47·83	1·75	27·3
9	20. Januar 1886.	49·8	1·87	26·4
		Mittel	1·78	26·95
		Maximum	2·22	39·38
		Minimum	1·21	19·4

Der Unterschied der diabetischen und der nicht diabetischen Lebern ist ersichtlich. Während bei den letzteren das mittlere absolute Lebergewicht 2·5 grm, das Maximum 4·6 grm, das Minimum 1·35 grm beträgt, wurde nach überstandener Glykosurie ein Mittelwerth von 1·78 grm geliefert; das Maximum war hier 2·22 grm, das geringste Lebergewicht = 1·21 grm. Ebenso deutlich sprechen die Zahlen für die relativen Lebergewichte:

	Normal	Diabetisch
Mittel:	18·5	26·95
Maximum:	27·9	39·38
Minimum:	11·66	19·4

Man überzeugt sich leicht durch die chemische Untersuchung, dass diese verschieden schweren Lebern einen verschiedenen Glykogengehalt aufweisen. Die verhältnissmässig bedeutenden Glykogenmengen, die aus Herbstlebern darzustellen sind, sucht man nach überstandener Glykosurie vergeblich. Es ist zweifellos, dass die Gewichtsverminderung in erster Linie durch den Glykogenschwund bedingt ist.

Im Anschluss an obige Tabelle theile ich hier eine Zusammenstellung von Leberwägungen mit, die sich auf den Einfluss erhöhter Wärme auf das Lebergewicht bezieht.

Dass ich diesen Gegenstand hier bespreche, hat darin seinen Grund, dass die Leber unter dem Einfluss einer Erhöhung der Körperwärme ähnliche wenn auch weitergehende functionelle Veränderungen erleidet, wie die diabetische Leber.

Ein wohlgenährter Frosch, der, ohne Nahrung zu erhalten, einige Wochen bei 25—32° C. zubringt, muss sich ähnlich verhalten, wie ein hungernder Warmblüter. Seine Stoffwechselvorgänge sind, wie die Untersuchungen von Hugo Schulz[1] gezeigt haben, bei 33—35° C. ebenso rege, wie beim Menschen. Da er die dadurch bedingten grossen Ausgaben aus seinem eigenen Stoffvorrath leistet, ohne sie ersetzen zu können, so wird eine fortschreitende Consumption eintreten, wie beim verhungernden Warmblüter.

In der That sieht man in zwei- bis vierwöchentlichem Aufenthalt im Wärmekasten die kräftigsten Frösche enorm abmagern. Wie lange sie überhaupt aushalten, haben wir nicht festgestellt. Die Leber ist an diesem Schwunde in hervorragender Weise betheiligt. Nicht nur ihr absolutes Gewicht geht bis unter die Einheit hinab, oder übersteigt sie nur wenig, sondern auch das relative Gewicht, ausgedrückt durch den Lebergewichtsquotienten $\frac{F}{L} = \frac{\text{Froschgewicht}}{\text{Lebergewicht}}$ ist bedeutend verändert.

Tabelle II.

Nummer	Datum	F	L	$\frac{F}{L}$	Dauer der Erwärmung
1	24. December 1885	31·56	1·11	28·4	3 Tage
2	25. December 1885	23·62	1·02	23·15	4 „
3	28. December 1885	24·68	0·96	25·7	7 „
4	18. Januar 1886	24·6	0·71	34·6	12 „
5	1. Februar 1886	51·3	1·55	33·1	15 „
6	13. März 1886	37·97	1·28	29·6	18 „
		Mittel	1·105	29·09	

Schon oben wurde angeführt, dass vom Glykogen in diesen Wärmelebern wie beim hungernden Warmblüter nur noch Spuren nachgewiesen werden können, und dass dementsprechend es entweder gar nicht gelingt, bei solchen Fröschen durch Strychnin Diabetes zu erzeugen, oder dass derselbe, wenn er zu Stande kommt, von überaus kurzer Dauer und geringer Stärke ist.

Wird das Lebergewicht solcher Frösche nach der Glykosurie oder nach Feststellung ihres Ausbleibens bestimmt, so zeigt es sich relativ und absolut auf einen Minimumwerth reducirt, wie Tab. III zeigt.

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XIV.

Tabelle III.

Nummer	Datum	F	L	$\frac{F}{L}$
1	31. December 1885	28·03	0·68	41·2
2	6. Januar 1886	46·83	1·38	33·9
3	10. Februar 1886	39·81	0·99	40·21
4	16. Februar 1886	41·42	0·78	53·1
5	18. Februar 1886	47·18	1·07	44·1
		Mittel	0·98	42·502

Das mittlere absolute Gewicht beträgt weniger als 1 grm, der Lebergewichtsquotient beträgt im Mittel 42·5, steigt in maximo bis auf 53·1 entsprechend einem absoluten Gewichte von etwa $^3/_4$ grm.

c) Die anatomischen Veränderungen der Leberzellen.

Dass verschiedenen Functionszuständen der Leber eine verschiedene histologische Beschaffenheit derselben entspricht, und dass solche morphologische Veränderungen nicht nur an die Gallenbildung, sondern auch an die Glykogenfunction geknüpft sind, ist durch die Beobachtungen von Heidenhain[1] und Kayser[2] und von Afanassieff[3] bewiesen worden. Dieselben gingen aus von der durch Hungern glykogenfrei oder glykogenarm gemachten Leber und verfolgten deren Veränderungen unter dem Einflusse einer durch reichliche und passende Ernährung hervorgerufene Glykogenbildung. Die Leberzellen fanden sich alsdann enorm vergrössert, die Zellgrenzen scharf ausgeprägt, in die Zellsubstanz so zahlreiche Glykogenpartikel eingelagert, dass das Protoplasma auf ein grobes Fadennetz zusammengedrängt erschien, das sich vom Kern zur Peripherie erstreckte.[4]

Man kann offenbar auch den umgekehrten Weg der Betrachtung einschlagen, und ausgehend von dem Bilde der glykogenreichen Leber die Veränderungen untersuchen, die sie unter dem Einflusse des Glykogenverbrauches erleidet. Untersucht man im ersteren Falle die Glykogenbildung, so studirt man hier den anatomischen Ausdruck von Vorgängen die, wie oben schon betont wurde, grosse Aehnlichkeit haben mit den

[1] Hermann's *Handbuch der Physiologie.* Bd. V. S. 221.
[2] *Breslauer ärztliche Zeitschrift.* 1879. Nr. 19.
[3] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXX. S. 385.
[4] Afanassieff, a. a. O. S. 485.

specifischen Secretionsprocessen anderer Drüsen, der Absonderung des in Zucker verwandelten Glykogens in's Blut.

Am meisten geeignet erscheint zu solchen Untersuchungen die Vergleichung glykogenreicher Lebern normaler Thiere mit den Lebern von Thieren, die entweder eine experimentell erzeugte Glykosurie überstanden haben oder deren Glykogenverbrauch durch Erwärmung oder durch Wärme und Diabetes gesteigert worden ist.

Die hier anzuschliessenden Mittheilungen sollen zum ersten Male das Eintreten anatomischer Veränderungen der Leberzelle in und durch den Diabetes darthun. Bei den experimentellen Glykosurien der Säugethiere ist bis jetzt, so viel ich weiss, nach anatomischen Veränderungen in der Leber nicht gefahndet worden. Für den menschlichen Diabetes liegen einige Angaben von v. Frerichs[1] vor, denen zufolge bei vorgeschrittener diabetischer Krankheit die mit Jodgummi behandelten Leberzellen eine bedeutende Verringerung ihres Glykogengehaltes zeigten.

Vergleicht man miteinander Schnitte aus normalen Herbstlebern und aus Lebern von Fröschen, die durch Strychninvergiftung diabetisch geworden waren, so glaubt man zwei ganz verschiedene Organe vor sich zu haben. Ich bin weit von der Annahme entfernt, dass die gesammte Veränderung, welche die Leber unter dem Einflusse der Strychninvergiftung erleidet, allein der Glykosurie zuzuschreiben sei. In Folge der genannten Intoxication mögen auch andere Processe in der Leber ablaufen, die ihr histologisches Bild verändern. Aber ich glaube nicht zu irren, wenn ich behaupte, dass das Bild durch die unmittelbar auf die Glykosurie zurückzuführenden Veränderungen beherrscht wird.

Die normale Herbst- oder Winterleber. Ich gehe aus von dem Bilde eines in concentrirtem Glycerin aufgehellten Schnittes aus einer in Alkohol gehärteten Leber. Schon beim Schneiden merkt man einen ungewohnten Widerstand. Das Gefüge hat etwas körniges, sandartiges; zuweilen knirscht das Organ unter dem schärfsten Messer. Die Leber ist bröckelig. Dünne Schnitte sind schwer herzustellen; in wässerige Flüssigkeit gebracht fahren oft auch die dickeren auseinander.

Ein gelungener Dünnschnitt in Glycerin gebracht und schnell besehen, bietet ein eigenartiges Bild.

Die Zellen sind deutlich von einander abgegrenzt, jede ist wenigstens im grössten Theile ihres Umfanges scharf umrandet. Der Inhalt ist stark lichtbrechend, glänzend, oft so gleichmässig und homogen, dass die Zelle

[1] v. Frerichs, *Ueber den Diabetes*. Berlin 1884. S. 272.

wie aus Glas oder Eis bestehend aussieht; andere Male zeigt ihr Inhalt den Anschein einer groben Körnung, der wahrscheinlich auf Unebenheit der Oberfläche zurückzuführen ist. Von Kern und Protoplasma ist in vielen Zellen nicht die Spur zu sehen; in anderen ist ein von etwas Protoplasma umgebener Kern ausserhalb des glänzenden Zellinhaltes deutlich.

Die glänzende eisartige Masse ist, wie die chemische Reaction unter dem Mikroskop lehrt, Glykogen. Fügt man wässerige Jodlösung hinzu, oder besser, untersucht man von vorn herein in dem von Ehrlich angegebenen Jodgummischleim (dem man zweckmässig eine geringe Menge Glycerin zusetzen kann), oder in dem von Barfurth empfohlenen Jodglycerin, so färbt sich fast die ganze Zelle tief dunkelrothbraun, während die geringen Protoplasmareste, die Kerne, soweit sie sichtbar sind, die Blutgefässe nebst ihrem Inhalt lediglich eine gelbe Färbung annehmen.

Das Glykogen ist offenbar in festem Zustande vorhanden. Da es in diesem das Licht stark bricht, verleiht es dem Aussehen des Schnittes einen eigenthümlichen reliefartigen Charakter. Die frische Leber dagegen enthält das Glykogen jedenfalls nicht in fester Form; trotz enormen Glycogengehaltes schneidet sich eine solche Leber weich und gleichmässig. Unter dem Mikroskop sind auffallend stark brechende Massen nicht wahrnehmbar. Ich muss deshalb Barfurth[1] beistimmen, der in seiner werthvollen Abhandlung über das Vorkommen und die Verbreitung des Glykogens die Ansicht äussert, dass das Glykogen in der frischen Zelle in der Form einer concentrirten kleisterartigen Lösung enthalten sei, die durch Alkohol fest werde.

Ich kehre zum Glycerinpraeparat zurück. Allmählich beginnt in der Zusatzflüssigkeit die glänzende Masse sich zu lösen. Die Lösung geschieht langsam. Sie beginnt am Rande. Hier sieht man zuerst, entweder am ganzen Umfange oder an einem Theile desselben einen doppelten Contour auftreten: die Randzone ist geschmolzen. Der Raum zwischen beiden Contouren verbreitert sich unregelmässig, indem die Lösung ungleichmässig nach innen fortschreitet. Bald ist das feste Glykogen auf einen oder auf mehrere, zusammenhängende oder von einander getrennte, homogen oder mehr körnig erscheinende, zuweilen tropfenartige Schollen beschränkt. Der übrige Zellinhalt ist glanzlos, durchsichtig, bis auf einige deutliche protoplasmatische Bestandtheile anscheinend homogen. Die Kerne sind längst und zwar an dem dem Blutgefässe zugewendeten Ende der Zelle der Wand hart anliegend erschienen. Die Schollen oder Tropfen werden kleiner und kleiner und schmelzen endlich ganz. Die Zelle ist jetzt anscheinend glykogenfrei. Jod färbt ihren Inhalt indessen immer noch braun. Das Glykogen ist

[1] *Archiv für mikroskopische Anatomie.* Bd. XXV. S. 259.



nämlich als feste glänzende Masse zwar verschwunden, aber in der Zelle immer noch in starker Lösung vorhanden. Bei der Indiffusibilität und geringen Löslichkeit des Glykogens ist es nicht leicht, es völlig auszulaugen. So erhielt ich noch nach 24stündiger Maceration von aus Alkohollebern angefertigten feinen Schnitten in 0·6 % Kochsalzlösung deutliche Glykogenreaction des Zellinhaltes. Will man die Zellen schnell glykogenfrei machen, so ist Maceration in mit 0·6 % Kochsalzlösung verdünntem und filtrirtem Speichel zu empfehlen. Der ganze Inhalt solcher Zellen, der Kern, das Protoplasma, die später zu besprechende interprotoplasmatische Substanz werden jetzt durch Jod lediglich gelb.

Die diabetische Leber. Ganz anders verhält sich diese. Ihre Consistenz ist die einer guten Klemmleber; feine Schnitte sind leicht zu machen. Die Zellen sind erheblich verkleinert, nicht immer scharf voneinander abgegrenzt. Der Glanz erstreckt sich nur auf eine schmale am Rande gelegene halbmondförmige Zone der Zelle. Auch ist es nur diese, die durch Jodgummi oder Jodkalilösung gebräunt wird. Bei manchen Zellen fehlt dieser Abschnitt ganz. Der ganze Rest der Zelle wird durch Jod durchweg gelb. Der Kern ist am Glycerinpraeparat in jeder Zelle von vornherein deutlich erkennbar; der übrige Zellinhalt besteht aus körnig erscheinendem Protoplasma. Die Glykogenzone löst sich schnell. Doch ist auch nach erfolgter Schmelzung das Aussehen des Schnittes ein ganz anderes wie das eines aus einer Normalleber gewonnene und durch endliche Lösung glykogenfrei gewordenen Praeparates. Bei diesem die grossen, jetzt blasenartig aussehenden Zellen mit zumeist homogenem und sehr spärlichem protoplasmatischem Inhalt; bei jenem die kleinen polygonalen fast ganz von Protoplasma angefüllten Gebilde.

Das hier geschilderte Bild wird ergänzt durch die Betrachtung gefärbter Schnitte.

Als Färbemittel dienten Carmin, Alauncarmin, Pikrocarmin, Haematoxylinalaun, Gentianaviolett, Methylviolett, wässeriges Anilinblau, Eosin, die von Norris und Shakespeare und von Anderen empfohlene Combination von Indigcarmin und Boraxcarmin; endlich und vor allen Dingen die Heidenhain'sche Haematoxylinfärbung. Während man für die diabetische Leber mit ammoniakalischem Carmin auskommt, ist für das Studium der normalen neben ihm die Anwendung der genannten Haematoxylintinction nothwendig. Die übrigen erwähnten Farbstoffe bieten ausser dem Eosin keine besonderen Vortheile.

Die in toto gefärbten Leberstückchen wurden in Paraffin eingebettet und mit dem Mikrotom geschnitten.

Die Ansicht, die ich mit Hülfe dieser Mittel von dem Bau der normalen Herbst- und Winterleber des Frosches gewonnen habe, schliesst sich eng an die zuerst von Kupffer[1] entworfene Schilderung desselben an. Mit der Leberzelle des Säugethieres, deren Bild Heidenhain[2] und seine Schüler Kayser[3] und Afanassieff[4] gezeichnet haben, hat die des Frosches wohl viele Aehnlichkeit; doch sind beide in meheren Beziehungen verschieden.

Kupffer hat zunächst, besonders durch Behandlung mit Osmiumsäure festgestellt, dass der Leberzelleninhalt aus zwei deutlich von einander unterscheidbaren Substanzen besteht, einer hyalinen der Masse nach überwiegenden Grundsubstanz, die der formgebende Theil ist, und einer spärlicheren feinkörnig fibrillären, die in die erstere eingebettet ist. Bekanntlich hat er der ersteren den von Vielen acceptirten Namen Paraplasma ertheilt, während er die letztere als Protoplasma bezeichnet.

Das Protoplasma besteht aus einer zusammenhängenden ein netzförmig angeordnetes Fadenwerk bildenden Masse. „An den meisten Zellen einer Leber“, sagt Kupffer[5] „wird man nach Behandlung mit Osmiumsäure finden, dass das Protoplasma um den Zellkern oder neben demselben am beträchtlichsten angehäuft ist. Aber diese Disposition ist keineswegs constant, es kann die Hauptmasse auch von dem Kern abrücken. Stets aber kehrt der Umstand wieder, dass das Protoplasma nicht gleichmässig innerhalb des hyalinen Paraplasma vertheilt ist, sondern an einer Stelle eine compactere Centralmasse zeigt, von welcher aus Netzfäden peripherisch ausstrahlen“.

„Der Hauptzug der Fäden des Protoplasma geht von der das Blutgefäss tangirenden Oberfläche der Zelle (woselbst auch der Kern liegt, Ref.) zu der das Gallenröhrchen begrenzenden Kante hin“.[6] Stets steht der Kern in nahem Contact mit der Protoplasmamasse.

Das protoplasmatische Netzwerk vergleicht Kupffer mit einem Pseudopodiennetz; sehr treffend ist auch die Vergleichung mit dem circulirenden sich zu Netzfäden verbindenden Protoplasma von Pflanzenzellen. Auf dem geheizten Objecttisch hat er sogar Bewegungen der Fäden wahrnehmen können.

Bezüglich der weiteren Schilderung muss ich auf Kupffer's Originalmittheilung verweisen und auf die Abbildung, die nach ihm in Heidenhain's Physiologie der Absonderungen[7] gegeben ist.

---

[1] *Schriften des naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein.* 1875. I. Hft. 3. S. 229.

[2] Hermann's *Handbuch der Physiologie.* Bd. V.

[3] *Breslauer ärztliche Zeitschrift.* A. a. O.

[4] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXX.

[5] A. a. O. S. 232.

[6] S. 232.

[7] A. a. O. S. 223.

Nach Kupffer hat Flemming[1] die Leberzelle des Frosches genau und mit Zuhilfenahme der neuesten Hülfsmittel der Mikroskopie untersucht. In einigen Dingen weicht seine Schilderung von der Kupffer's ab. Er kann nicht finden, dass die Fädenmasse in der Regel am Zellkern am beträchtlichsten angehäuft sei; meistens vielmehr findet er das Fadenwerk an der Seite der Zelle localisirt und verdichtet, welche dem Gallenröhrchen angrenzt, während der an der entgegengesetzten Zellseite lagernde Kern gar keine oder wenige Fädenansammlungen um sich her hat. „Die Fäden strahlen in dichten Büschen von den Gallenröhrchenquerschnitten her divergirend in die Paraplasmamasse, meist ohne den Kern zu erreichen". Auch die netzförmige Verbindung der Fäden kann er nicht constatiren. Im Paraplasma („Interfilarsubstanz") erkennt er eine feine gleichmässige, sehr blasse Zeichnung, halb granulirt, halb fädig, die möglicherweise eine Gerinnungserscheinung ist. Diese Schilderung bezieht sich auf Osmiumpraeparate. Nach Härtung mit Alkohol, Chromsäure oder Kaliumchromat ist das Bild etwas anders. Die Fäden sind anders angeordnet, „sie durchspannen ziemlich gleichmässig den Zellkörper und haben mehr gestreckten doch immer noch oft recht unregelmässigen Verlauf"; der Kern zeigt sich von ihnen umlagert. Die Interfilarmasse erscheint homogen, scheidet aber körnige Gerinnsel aus, die sich den Fäden an- und aufheften.

Flemming hat Winterlebern untersucht, die zweifellos sehr protoplasmaarm, und, was damit Hand in Hand zu gehen pflegt, sehr glykogenreich gewesen sein müssen. Seiner Ansicht nach macht die ganze protoplasmatische Masse nur $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Zellkörpers aus.

Die entsprechenden Abbildungen sind auf Taf. I Fig. 5—9 seines Werkes gegeben; auf sie will ich hier verweisen.

Im Anschluss an diese Angaben möchte ich dem bereits Angeführten Folgendes hinzufügen:

Erstlich scheint mir sicher, dass die Leberzelle des Frosches eine Membran oder Zellhülle besitzt, wie eine solche Heidenhain ja auch für die Zellen der Warmblüterleber schildert. Ich halte sie für die verdichtete oberflächlichste Schicht der homogenen interprotoplasmatischen oder interfilaren Substanz, des Paraplasma Kupffer's. Wenn ich Letzteren recht verstehe, nimmt er eine solche Verdichtung nicht an. An mässig gefärbten isolirten Zellen tritt die Hülle indess deutlich hervor; auch sah ich zuweilen den angrenzenden Zellinhalt sich von ihr retrahiren. Was das sogenannte Paraplasma anlangt, so ist es vielleicht oder enthält es eine eiweissartige Masse. Sie giebt die Xanthoproteïnreaction und wird durch Kali und Kupfersulfat violett. Kupffer hat angegeben, dass das Paraplasma bei Zusatz von Essig-

[1] Flemming, *Zellsubstanz, Kern- und Zelltheilung.* Leipzig 1882. S. 24 ff.

säure sich trübe, und zwar um so mehr, je stärker die Säure sei. Er hat nach dieser Reaction einen starken Mucingehalt vermuthet. Ich selbst habe diese auffallende die ganze Zelle feinkörnig erfüllende, Protoplasma und Kern fast oder ganz verdeckende Trübung gesehen, aber immer nur an Zellen, die laut Aussage der Jodprobe noch einen starken Glykogengehalt aufwiesen. Dagegen blieb diese Reaction aus, war vielmehr nur ein Aufquellen der Zellen bemerkbar, wenn durch Speichelbehandlung die Zellen sicher glykogenfrei gemacht worden waren. Ich muss deshalb annehmen, dass die starke Essigsäure die Trübung durch Ausfällung von Glykogen herbeigeführt habe.

Zu allen Färbestoffen besitzt das Paraplasma eine geringere Verwandtschaft wie das Protoplasma; am leichtesten ist es noch durch Jod und durch Eosin färbbar; nach stärkerer Einwirkung des Heidenhain'schen Haematoxylins wird es hellgrau, im Gegensatz zu der tief dunklen Zellhülle, dem scharf sich markirenden Kern, und dem dunkelgrau bis schwarz gefärbten Protoplasmanetz. Das Paraplasma ist, wie auch Ehrlich, Langley [1] und Barfurth angeben, der Träger des Glykogens. Das sieht man natürlich nicht mehr in gefärbten Schnitten, wohl aber kann man diese Beobachtung machen an in Glycerin oder Jodlösung liegenden Praeparaten, in denen das Glykogen sich auflöst.

Schwer zu beantworten ist die Frage, wie das Verhältniss des Glykogens zu dieser Trägersubstanz zu denken sei. Handelt es sich um ein Nebeneinander oder um eine Verbindung von Albuminat und Kohlehydrat; sind beide zu einem mucin- oder hyalogenartigen Körper verschmolzen, oder ist in der im frischen Zustande flüssigen Interfilarmasse das Glykogen gelöst? Ich wage nicht dies zu entscheiden.

Für die Darstellung des feinen protoplasmatischen Netzwerkes, denn für ein solches muss ich nach sorgfältiger Prüfung mit Oellinsen [2] und Abbe'scher Beleuchtung die Filarmasse Flemming's mit Kupffer halten, ist im Allgemeinen die vorgängige Alkoholhärtung nicht angebracht. Ueber Osmiumsäure habe ich keine eigenen Erfahrungen; Kupffer hat sie mit Vortheil benutzt. Dagegen kann ich 0·6 procentige Chromsäure oder Sublimat empfehlen. Auf den Vorschlag des Hrn. Prof. Heidenhain in Breslau, der auch durch manchen anderen werthvollen Rath die vorliegende Untersuchung gefördert hat, brachte ich die frische in kleine Stücke geschnittene Leber in mit Sublimat gesättigte auf 37 bis 40° erwärmte 0·6 procentige Kochsalzlösung, aus der sie nach $^1/_2$ bis 1 Stunde für einen Tag in

[1] Preliminary account of the structure of the cells of the liver etc. *From the Proceedings of the Royal Society*. 1882. Nr. 220.

[2] Hartnack, Homogene Immersion I,-Zeiss $^1/_{12}$.



kalte Lösung übertragen wurde. Dann 24stündiges Auswaschen in fliessendem Wasser, Nachhärten in Alkohol, Färbung, Einbettung und Zerlegung mittels des Mikrotoms. Das feine Netzwerk mit seinen Fäden, Körnchen und Anschwellungen (Knotenpunkten?) tritt dann deutlich hervor, oft in überraschend reicher Ausbildung fast die ganze Zelle erfüllend, sehr ähnlich dem von Afanassieff (a. a. O. Fig. 2) abgebildeten Maschenwerk, doch anscheinend zarter. (S. Fig. 1 Taf. XVIII). Die Alkoholbehandlung lässt nur Rudimente davon bestehen.

Die protoplasmatische „Centralmasse" ist immer gut zu sehen, weniger sicher ist überall ihre netzartige Structur (Kupffer) oder ihre fadenknäuelartige Beschaffenheit (Flemming) festzustellen. Wie Kupffer sehe auch ich sie oft in engstem Zusammenhang mit dem Kern; seltener tritt sie an der entgegengesetzten Seite der Zelle in der Umgebung des Gallenröhrchens auf (Flemming). Zuweilen hängt sie am Kern wie ein langer nicht eben schmaler bis zur Gegenseite der Zelle sich erstreckender, dort oft breiter werdender Bart. (S. hierzu Fig. 3 Taf. XVIII). Sehr schön ist diese Bildung zu sehen an den zierlichen von grössten Leberzellen gebildeten Rosetten, die kleinere Blutgefässdurchschnitte umgeben. Fig. 4 Taf. XVIII zeigt die Protoplasmabärte dreier Zellen, die den deutlich erkennbaren scharf umschriebenen Querschnitt eines feinsten Gallenröhrchens umgrenzen. Vom feinen Protoplasmanetze, das in diesen (Alkohol-) Praeparaten nur andeutungsweise erhalten war, ist in Fig. 3 und 4 nichts abgebildet worden.

Wie eng das Verhältniss der „Centralmasse" zum Kern sein muss oder wenigstens sein kann, lehrten Zerzupfungspraeparate gefärbter Leberstücke. Hier gelang es, Theile zu isoliren, die lediglich aus dem Kern und dem an ihm haftenden Protoplasmabarte bestanden. Der dem Kern zunächst gelegene Theil desselben sieht manchmal fast homogen aus.

Die Mächtigkeit der „Centralmasse" ist erheblichen Schwankungen unterworfen. Je glykogenreicher die Zelle, desto spärlicher ist sie. (S. Fig. 2 Taf. XVIII).

Was endlich den in Herbstlebern fast immer einfachen Kern anlangt, so habe auch ich ihn in der Regel wandständig, hart an der dem Blutgefäss anliegenden Zellgrenze liegen sehen. Nur ausnahmsweise sah ich einen Theil der Kerne mehr in's Innere gerückt und mit dem zunächst gelegenen Theile der Zellhülle durch Protoplasmafäden verbunden.

Vergleicht man mit diesem Bilde einer glykogenreichen Froschleber einen ebenso behandelten Schnitt aus der Leber eines diabetisch gemachten Strychninfrosches, so tritt der Unterschied beider auf das deutlichste hervor. Die Zelle ist hier erheblich verkleinert. Die Messung ergab in einem

Falle für den grössten Durchmesser der Zelle in der Normalleber 0.043^{mm},[1] in der diabetischen nur $0{\cdot}023^{mm}$. Für die ersteren lauten die Angaben Kupffer's (a. a. O. S. 230) sehr ähnlich.

Die ganze Zelle ist von Protoplasmamassen ausgefüllt, die wahrscheinlich eine schwammige Structur besitzen. Gute Bilder giebt hier neben der Haematoxylinmethode die Färbung mit ammoniakalischem Carmin. (S. Fig. 5 Taf. XVIII). Das Protoplasma zeigt oft grobe, einander vielfach parallel gelagerte Flocken oder Fetzen, die sich stark färben, und eine nach dem Gallenröhrchen hin gerichtete Streifung des Zellinhaltes bedingen können. Von einem feinen Netzwerk ist natürlich nichts zu bemerken.

Ausser dem Glykogen ist also auch seine Trägersubstanz, das Paraplasma verbraucht; dagegen ist das Protoplasma auffallender Weise vermehrt, eine Erscheinung, die an die Protoplasmawucherung erinnert, die in anderen Drüsenzellen während ihrer künstlich gesteigerten Secretionsthätigkeit beobachtet worden ist.

Um zur Feststellung der durch die Glykosurie verursachten anatomischen Veränderungen instructivere Vergleichsobjecte zu gewinnen, habe ich folgenden Versuch angestellt: Zwei Fröschen wurde je ein Leberlappen ausgeschnitten, die Bauchwunde gut vernäht, darauf die Thiere mit Strychnin vergiftet. Die ausgeschnittenen Stücke zeigten ganz die normale Structur glykogenreicher Lebern. Bei beiden Fröschen trat Diabetes ein, währte allerdings nicht so lange, wie bei unversehrter Leber. Als nach Ablauf der Glykosurie die zurückgebliebenen Leberlappen untersucht wurden, zeigten sie sich total verschieden von den vorher exstirpirten Probestücken. Sie boten durchaus das Bild diabetisch veränderter Lebern dar.

Schon oben wurde angeführt, dass das Verhalten eines im Wärmekasten ohne Nahrung aufbewahrten Frosches dem eines hungernden Warmblüters ähnlich sein müsse. In der That sahen wir nach mehrwöchentlichem Aufenthalt in einer Temperatur von 25—32° C. das reichliche Leberglykogen von Winterfröschen bis auf Spuren geschwunden. Diese spurenweisen Reste entziehen sich dem mikroskopischen Nachweis: durch Jod wird der ganze Schnitt gelb. Die Zellen sind erheblich verkleinert, viel kleiner selbst als die der diabetischen Leber; ihre Grenzen sind vielfach verwischt, ihr Inhalt ist ein dichter granulirter Protoplasmakörper. Die Masse des Zellkörpers ist so verringert, dass die selbst verkleinerten Kerne nur von schmalen Protoplasmazonen umgeben erscheinen. Aehnliche Bilder scheint, wie aus seiner vor-

[1] Die Zellen können sogar, wie ich später sah, noch weit grösser sein. In einer späteren Abhandlung werde ich über genauere Messungen berichten.



läufigen Mittheilung hervorgeht, Langley erhalten zu haben, nachdem er Winterfrösche ein bis zwei Wochen lang bei 20 ° C. gehalten hatte.[1]

Noch weiter geht die Verkleinerung, noch weiter die Verwischung der Zellgrenzen, wenn man die dem Wärmekasten entnommenen Thiere mit Strychnin vergiftet hat. Sei es dass noch eine kurze Glykosurie auftritt, sei es dass sie jetzt gänzlich ausbleibt (s. o.), das Bild ist ein höchst charakteristisches, die Leberschläuche sind enorm geschrumpft, sie bestehen aus granulirten Protoplasmamassen, an denen die Scheidung in Zellterritorien sich oft nur aus den hier in geringen Abständen von einander liegenden Kernen erschliessen lässt. In Fig. 6 Taf. XVIII gebe ich die Abbildung eines aus einer solchen Leber entnommenen Schnittes. Das Bild hat eine sehr grosse Aehnlichkeit mit dem, welches Afanassieff in Fig. 1 Taf. II seiner Abhandlung von der Leber eines hungernden Hundes mitgetheilt hat.

Die anatomischen Veränderungen, welche die Leberzellen unter dem Einflusse der durch Strychninvergiftung herbeigeführten Zuckerbildung erleiden, sind nach dem Vorangehenden kurz folgende:

Das einen bedeutenden Zellbestandtheil bildende Glykogen nimmt an Menge ab. Gleichzeitig schwindet mit ihm die homogene Interfilarsubstanz. Zugleich wuchert das Protoplasmanetz und durchsetzt dichter gedrängt die ganze Zelle. Diese Substanzzunahme ist aber lange nicht so bedeutend, wie der Substanzverlust, so dass im Ganzen eine nicht unbeträchtliche Verkleinerung des Zellleibes resultirt.

Macht man mit Claude Bernard die mir durchaus begründet erscheinende Annahme,[2] dass in der Leber auch unter normalen Bedingungen eine ständige Zuckerbildung stattfindet, so wird man daran denken müssen, dass auch normaler Weise in der Leberzelle ähnliche wenn auch weit geringere und schnell wieder reparirte morphologische Processe ablaufen, wie die oben geschilderten.

Von diesen Vorgängen hätte man sich etwa folgendes Bild zu machen: das neben dem Protoplasma befindliche und in dessen Maschenwerke eingelagerte Glykogen wird durch einen auf der Zellthätigkeit beruhenden Hydratationsprocess in Zucker verwandelt. Der leicht diffundirbare Zucker wird durch den jede Leberzelle tangirenden Blutstrom schnell fortgeführt. Die Ausscheidung wird vielleicht durch active Contractionen der Protoplasmafäden (Kupffer) unterstützt. Einflüsse von Seiten des Nervensystems

[1] Ueber das ähnliche Aussehen der normalen Sommerleber wird eine weitere Mittheilung berichten.

[2] Bei späterer Gelegenheit werde ich sie auch für den Frosch durch experimentelle Beweise erhärten.

reguliren die Zuckerbildung in ähnlicher Weise, wie sie die in anderen Drüsen vorkommenden secretorischen Metamorphosen beherrschen. In welcher Weise die eiweissartige Trägersubstanz des Glykogens normaler Weise betheiligt wird, lasse ich dahingestellt; nach den obigen Schilderungen zu schliessen nimmt auch sie ab.

Während sich die extraprotoplasmatische Masse vermindert, vermehrt sich das Protoplasma. Hier fehlt nun, zum Verständniss der ganzen Erscheinungsreihe, die Kenntniss eines wichtigen Gliedes, nämlich die vom Modus der Glykogenentstehung. Es sieht so aus, als spalte sich das Glykogen in den Leberzellen aus dem protoplasmatischen Eiweiss ab, als verdanke es seine Entstehung einer Metamorphose, die an die Mucinbildung in den Schleimdrüsen und an andere ähnliche Vorgänge erinnert.

Vielleicht ist die Interfilarmasse das eine, das Glykogen das andere Spaltungsproduct; es wäre aber auch nicht undenkbar, dass erstere eine hyalogenartige Zwischenstufe darstellt.[1] Genaue weitere Untersuchungen über die anatomischen Vorgänge beim Glykogenansatz in glykogenfrei gemachten Froschlebern werden über diesen Punkt vielleicht Aufschluss bringen. Solche Untersuchungen haben wir bereits im Gange, und ich werde nicht verfehlen nach Abschluss derselben ihr Ergebniss mitzutheilen.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. XVIII.)

Fig. 1. Tab. I a. 26. Normalleber, Behandlung mit Sublimat. Färbung mit Haematoxylin nach Heidenhain. Zeiss, homogene Immersion $^1/_{12}$. Ocular IV.

Fig. 2. Tab. I a. 11. Normalleber. Alkoholbehandlung. Haematoxylin. Hartnack, Ocular III. Object. 8. Zeichengsprisma.

Figg. 3 und 4. Tab. I a. 3. Normalleber. (Siehe Text.) Haematoxylin. Hartnack, Ocular IV. Object. 8.

Fig. 5. Tab. I b. 9. Strychnindiabetes. Sublimatbehandlung. Haematoxylin. Hartnack, Ocular III. Object. 8. Zeichenprisma.

Fig. 6. Tab. III. 1. Wärme und Strychnindiabetes. Härtung in Erlicki'scher Flüssigkeit. Hartnack, Ocular III. Object. 8.

Sämmtliche Zeichnungen sind von Hrn. Universitätszeichner Braune angefertigt.

---

[1] Die mir erst nach Abschluss dieser Mittheilung zugegangene Untersuchung von Röhmann (Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXXIX. S. 21) machen Letzteres wahrscheinlich.

Die Wirkung des Cocaïns auf die peripherischen Nerven.

Von

Dr. H. Alms,

design., Assistenten am pharmakologischen Institut zu Breslau.

Die folgende Untersuchung wurde auf Vorschlag des Hrn. Prof. Filehne und mit seiner freundlichen Unterstützung angestellt.

In Nr. 33 der allgemeinen medicinischen Centralzeitung vom 25. April 1860 finden wir eine Besprechung der wissenschaftlichen Erfolge der Novara-Expedition, in welcher auch das Cocaïn (Coca-Blätter) erwähnt wird. Die betreffende Stelle lautet: „Dabei übt es auf die Zungennerven die merkwürdige Wirkung aus, dass die Berührungsstelle nach wenigen Minuten wie betäubt, fast gefühllos wird.“[1]

War schon damals die örtlich anaesthesirende Wirkung des Cocaïns erkannt worden, so dauerte es doch bekanntlich länger als zwanzig Jahre, bis seine therapeutische Wirkung richtig gewürdigt wurde und es zu allgemeiner Anwendung gelangte. Denn obgleich v. Anrep im Jahre 1880 in Pflüger's Archiv wieder auf die anaesthesirende zu therapeutischen Zwecken geeignete Wirkung des Cocaïns hingewiesen hatte, wurde doch die allgemeine Aufmerksamkeit auf das so lange unbeachtet gebliebene Mittel erst hingelenkt durch die Mittheilungen Koller's (auf dem ophthalmologischen Congresse zu Heidelberg) im Jahre 1884, welche namentlich seine locale Anwendbarkeit am Auge betonten. Dann aber erschien in kurzer Zeit eine zahlreiche und mannigfaltige Litteratur über das neu zur Geltung gelangte Praeparat. Indessen beschränkt sich der weitaus grösste Theil derselben auf Mittheilungen über die Anwendbarkeit des Mittels bei den verschiedenen Operationen und bei Krankheiten des Auges, Kehlkopfes, Rachens, der Nase, Harnröhre, Blase u. s. w.,

---

[1] Entnommen einer Notiz der *Berliner klinischen Wochenschrift* vom 7. December 1885.



während die physiologische Wirkung viel weniger berücksichtigt wurde. Und in den Arbeiten, welche auf diese näher eingingen, wurde wieder hauptsächlich die Wirkung auf die Augenlider, die Pupille und den Accommodationsapparat in den Vordergrund gestellt, wie in den Arbeiten von Koller[1] Eversbusch,[2] A. Weber,[3] Höltzke,[4] Reichenheim[5] u. A. Die Frage nach dem Zustandekommen der Anaesthesie wurde nur nebenher berührt. So sagt Weber (a. a. O. S. 444): „Es sieht sich von selbst ein, dass die Herabsetzung der Temperatur und das Kältegefühl Effect der Gefässcontraction und der Abdunstung ist; die Unempfindlichkeit dagegen kann nicht aus derselben Quelle abgeleitet werden, da sie um vieles früher, als die Begleiterscheinungen und auch in Fällen von entzündlicher Reizung der Cornea auftritt, wo der Thränenfluss noch reichlich fortbesteht; sie ist die unmittelbare Wirkung des Contactes mit den Nervenendigungen.“ Ueber diesen Passus der Weber'schen Arbeit spricht sich Eversbusch folgendermaassen aus: „Dazu möchte ich bemerken, dass mehrere intelligente Patienten das Kältegefühl der Anaesthesie deutlich vorausgehend fanden. Ohne die Weber'sche Erklärung als unrichtig hinzustellen, dürften diese Beobachtungen vielleicht dafür sprechen, dass bei dem Zustandekommen der Unempfindlichkeit die acute Anaemie der Conjunctiva doch am Ende eine Rolle mitspielt. An Analogien fehlt es in der Hinsicht ja nicht. Ich brauche nur an die nach Unterbindung eines Gefässes z. B. der Cruralis eintretende Anaesthesie der betreffenden Extremität zu erinnern.“

Die Entscheidung der Frage, ob das Cocaïn direct die sensiblen Nervenendigungen lähme, oder ob die Anaesthesie secundär durch Ischaemie zu Stande komme, war der ursprüngliche Zweck der vorliegenden Arbeit.

I. Wirkungen des Cocaïns auf die sensiblen Nervenendigungen.

Einer mittelgrossen Rana esculenta wurde die rechte hintere Extremität mit einer 5 procentigen Lösung von Cocainum hydrochloricum bestrichen. Nach vier Minuten wurde mit reinem Wasser abgespült, um zu verhüten, dass von der aufgestrichenen Flüssigkeit etwas auf benachbarte Körpertheile, namentlich aber auf die linke hintere Extremität gelangte. Es wurde dann die Sensibilität der beiden hinteren Extremitäten geprüft.

---

[1] *Wiener medicinische Wochenschrift.* 1884.

[2] Dr. O. Eversbusch, Ueber die Anwendung und Wirkung des Cocaïnum muriaticum als locales Anaestheticum. *Aerztliches Intelligenzblatt.* December 1884.

[3] A. Weber, Ueber locale Anwendung des Cocaïns am Auge. Zehender's *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde.* December 1884. XXII. Jahrgang.

[4] Höltzke, Zur physiologischen Wirkung des Cocaïns auf das Auge. *Ebenda.*

[5] Reichenheim, Beiträge zur Wirkung des Cocaïns auf das Auge. *Ebenda.*

Zu diesem Zwecke bedienten wir uns einer $^2/_3$ procentigen Salzsäurelösung, welche nach unseren Erfahrungen die Haut der Esculenten — bei der empfindlicheren Temporaria genügt eine $^1/_3$ procentige Lösung — schmerzhaft reizt, ohne dieselbe materiell zu verändern oder die Sensibilität nach einiger Zeit zu beeinträchtigen. Eine Esculenta, deren Extremitäten man in eine solche Lösung taucht, zieht dieselben erst nach 3 bis 4 Secunden unter lebhaften wischenden Bewegungen empor. Es ergab sich nun, dass die rechte (cocaïnisirte) Extremität auch bei längerem Verweilen in der Salzsäurelösung keine Bewegungen mehr ausführte, also vollkommen anaesthetisch geworden war, während die linke deutlich, doch etwas später reagirte. Diese Verspätung der Reaction an der nicht cocaïnisirten Extremität ist offenbar als Folge der Resorption von Cocaïn durch die Haut aufzufassen, welche bei einem Frosche mit intacter Blutcirculation selbstverständlich ist, sobald es sich um Anwendung von Substanzen handelt, die, wie Cocaïnlösung, in die Froschhaut eindringen können. Sehr bald reagirt auch die nicht cocaïnisirte Extremität gar nicht mehr; und indem auf diese Weise die Möglichkeit fortfällt, die Unterschiede in der Reaction des cocaïnisirten und nichtcocaïnisirten Gliedes zu beobachten, liefert ein solcher Versuch nicht die Ueberzeugung, dass man es bei dieser Methode der Cocaïnisirung einer Extremität auch thatsächlich mit einer localen Wirkung zu thun hat.

Um nun diese Unklarheit zu beseitigen, konnte man entweder mit schwächeren Cocaïnlösungen experimentiren oder noch besser die Resorption durch Aufhebung der Blutcirculation verhindern. So sahen wir z. B. auch schon an Fröschen, bei denen durch Zerstörung des Gehirns und verlängerten Markes die Verbindung zwischen den hauptsächlichsten vasomotorischen Centren und der Peripherie aufgehoben, die Blutcirculation also nur eine verlangsamte geworden war, dass die Unterschiede zwischen dem Verhalten der cocaïnisirten und nichtcocaïnisirten Extremität viel bedeutendere und namentlich anhaltendere waren; und während erstere der erwähnten Säuremischung gegenüber vollständig anaesthetisch erschien, gab letztere jedes Mal nach vier Secunden prompte Reaction. Jedoch auch hier traten nach einiger Zeit Resorptionserscheinungen auf, bestehend in allgemeiner Herabsetzung und Aufhebung der Reflexerregbarkeit. Zu der Anaesthesie gesellte sich im Verlaufe des Versuches stets eine motorische Lähmung ausschliesslich der cocaïnisirten Extremität, auf die wir zurückkommen werden.

Schon aus diesen Versuchen geht hervor, dass auch bei Fröschen eine local anaesthesirende Wirkung des Cocaïns prompt auftritt. Da nun bei diesen Thieren bekanntlich die Aufhebung der Blutcirculation auf die Functionen des Nervensystems für kurze Zeiträume so gut wie keinen Einfluss ausübt, so konnte schon aus den bis hierher mitgetheilten Beobachtungen

eigentlich der Schluss gezogen werden, dass die durch Cocaïn herbeigeführte locale Anaesthesie hier nicht die secundäre Folge einer localen Anämie sein könne, sondern durch eine directe Einwirkung auf die sensiblen Nervenendigungen herbeigeführt sein müsse.

Um jedoch strenger zu entscheiden, ob eine directe oder indirecte Wirkung auf die sensiblen Endigungen vorliege, liessen wir eine enthirnte mittelgrosse Esculenta sich verbluten, nachdem die Aorta, die Bauchvene und die beiden primären zuführenden Nierenvenen durchschnitten waren. Nach vollständiger Verblutung wurde die Sensibilität der beiden hinteren Extremitäten geprüft, wobei sich beiderseits gleiche und prompte Reaction auf Eintauchen in Salzsäurelösung zeigte. Nun wurde die rechte hintere Extremität mit Cocaïn bestrichen u. s. w. Das Resultat war dasselbe wie bei den früheren Versuchen: nach vier Minuten völlige Anaesthesie und motorische Lähmung des cocaïnisirten Gliedes, prompte Reaction des nicht cocaïnisirten. Und hier zeigte sich für das letztere keine Erscheinung, wie wir sie infolge von Gift-Resorption bei jenen Versuchen gesehen hatten.

Gegen die Beweiskraft dieses Versuches blieb jedoch der, wenn auch gezwungen scheinende Einwand offen, dass beim einfachen Verbluten des Frosches stets ein gewisses Quantum Blut namentlich in den Capillargefässen zurückbleibe, und dass dann Cocaïn immer noch Gelegenheit habe, eine absolute locale Anaemie zu erzeugen und so erst secundär die Anaesthesie zu veranlassen. Es musste demnach festgestellt werden, ob nicht auch bei absoluter Blutleere beider Beine bloss auf der cocaïnisirten Seite die Anaesthesie sich zeige.

Diese absolute Blutleere erreicht man bekanntlich durch Ausspülen der Gefässbahnen mit einer indifferenten Flüssigkeit. Nach unseren Erfahrungen genügte es bei grossen Esculenten, wenn etwa 350 ^{ccm} einer 0·6 procentigen Kochsalzlösung unter geeignetem Drucke durchgespült wurden, was einen Zeitraum von ungefähr $1^1/_2$ Stunden in Anspruch nahm. Wir führten die Canüle, welche durch einen Gummischlauch mit einem Glastrichter verbunden war, in die Aorta des Frosches ein und begannen mit der Durchspülung, nachdem das Thier nach Durchschneidung der Bauchvene, der beiden primären zuführenden Nierenvenen und aus dem centralen Ende der Aorta sich schon verblutet hatte. Es zeigte sich dabei, dass die einzelnen Organe, besonders das im Uebrigen gut weiter arbeitende und die Ausspülung unterstützende Herz in kurzer Zeit äusserst anaemisch wurden. Während z. B. die Nieren sehr rasch ganz blasses Aussehen zeigten, verschwanden die Spuren von Blut am spätesten aus der Leber, so dass die vollständige Anaemie dieses Organes den Zeitpunkt bezeichnete, wo mit der Durchspülung aufgehört werden konnte.

Versuche mit Durchspülung von einer der beiden oberen Hohlvenen

her ergaben ungünstigere Resultate, namentlich wegen der längeren Dauer bis zur völligen Blutleere; hatte doch das Herz hierbei das Durchtreiben der Spülflüssigkeit allein zu leisten, während der Druck, unter welchem diese aus dem Apparate zuströmte, jedenfalls ohne Nutzen war, vielmehr sehr leicht von einer das Herz schädigenden Wirkung werden konnte. Dagegen hatte bei der Durchspülung von der Aorta her der Druck, welcher vom Apparate geliefert wurde, die Hauptarbeit zu leisten und konnte, innerhalb gewisser Grenzen, beliebig hoch genommen werden. Eine möglichst schnelle Entblutung war aber für uns zu dem Ende sehr wünschenswerth, damit nicht schon vor der Cocaïnisirung die Reflexerregbarkeit durch Absterben zu schwer geschädigt wäre.

Wurde nun an einem derartig gänzlich entbluteten Frosche die rechte hintere Extremität in der beschriebenen Weise cocaïnisirt, so erhielten wir auch hier wieder das frühere Resultat, nämlich vollständige Anaesthesie und motorische Lähmung der cocaïnisirten, gute Reaction der nicht cocaïnisirten Extremität.

Dass die Haut auch der nicht cocaïnisirten Seite absolut blutleer war, wurde in jedem einzelnen Falle nach dem Versuche besonders constatirt.

Hiermit war bewiesen, dass, wie schon oben nach den ersten Versuchen als wahrscheinlich hingestellt worden war, die durch Cocaïn erzeugte locale Anaesthesie nur durch directe Einwirkung auf die sensiblen Nervenendigungen zu Stande kommt, unabhängig von irgend welchen Einflüssen des Cocaïns auf den Blutgehalt des betreffenden Körpertheiles.

II. Ueber die motorische Lähmung und das Vordringen des Cocaïns auf der sensiblen Bahn bei localer Cocaïnisirung.

Wir haben oben schon beiläufig erwähnt, dass bei der Application von Cocaïnlösung auf die Froschhaut neben der Anaesthesie eine motorische Lähmung des cocaïnisirten Gliedes auftritt.

Während das Thier die nicht cocaïnisirte Extremität in normaler Weise benutzt, liegt das cocaïnisirte Glied beständig schlaff da und wird wie ein fremder Körper nachgeschleppt, reagirt auch dann nicht mehr, wenn der Beobachter es brüsken passiven Bewegungen unterwirft.

Ein ähnliches Verhalten der cocaïnisirten Extremität hatte schon Vulpian beobachtet. Er sagt darüber:[1] „Lorsqu'une grenouille a eu la moelle épinière coupée transversalement au niveau des nerfs brachiaux, et lorsqu'elle n'est pas épuisée par une trop grande perte de sang, elle ramène par un mouvement réflexe ses membres postérieurs à leur attitude ordinaire

[1] *Comptes rendus.* t. XCIX. Nr. 21. p. 887.

de flexion et ses membres reprennent vivement cette attitude lorsqu'on les a étendus. Si l'on humecte à plusieurs reprises la peau d'un des membres postérieurs, dans toute son étendue, avec une solution aqueuse de chlorhydrate de cocaïne au $^1/_{50}$, le tégument de ce membre devient insensible, et alors ce membre reste souvent allongé lorsqu'on l'a étendu.“ Zur Erklärung dieses Verhaltens fügt Vulpian hinzu: „les impressions communiquées à la moelle épinière par les extrémités cutanées des nerfs sensibles faisant défaut dans ces conditions, le mécanisme du mouvement réflexe qui détermine l'attitude ordinaire en flexion n'est plus mis en jeu par ce membre, et dès lors ce membre reste pour ainsi dire à l'abandon.“ Dass dabei eine Beeinträchtigung des motorischen Apparates nicht in Frage kommt, schliesst Vulpian ferner daraus, dass das cocaïnisirte Glied noch Reflexbewegungen ausführen kann, wenn dieselben auf andere Weise („par d'autres procédés“) hervorgerufen werden.

Wie er diese Reflexbewegungen noch hervorrufen konnte, giebt Vulpian nicht näher an. Er erörtert auch nicht näher die Möglichkeit, dass es sich dabei um eine Herabsetzung der Functionen des motorischen Apparates handeln könnte und giebt somit keinen erschöpfenden Beweis für die Richtigkeit seiner Erklärung. Uebrigens zeigte bei seinen Versuchen das cocaïnisirte Glied keineswegs das Bild einer vollständigen Lähmung, denn dasselbe blieb nur „oft“ ausgestreckt liegen, während wir bei unseren Versuchen die auf die angegebene Weise cocaïnisirte Extremität äusserlich alle Zeichen einer völligen motorischen Lähmung darbieten sahen. Es erschien uns daher lohnend, zunächst genauer nachzusehen, ob dabei der motorische Apparat, bez. welcher Theil desselben, durch das Cocaïn in seiner Function beeinträchtigt wäre.

Da die in Rede stehende Erscheinung am praegnantesten beobachtet wurde an Fröschen mit aufgehobener Blutcirculation, bei denen das local applicirte Cocaïn durch die Hautcapillaren nicht fortgeschafft (resorbirt) werden konnte, so lag es nahe anzunehmen, dass dasselbe durch die Haut diffundirend, durch directe Wirkung auf darunter liegende Theile die Lähmung veranlasst oder von da aus noch weiter diffundirend angreifbare Theile erreicht. Zunächst konnte man an eine Beeinträchtigung der Musculatur denken, indessen ergab die faradische Reizung der cocaïnisirten Seite fast dieselbe Erregbarkeit wie auf der nicht cocaïnisirten, so dass der Musculatur die Schuld an der motorischen Lähmung sicher nicht zuzuschreiben war. Die allerdings vorhandene geringe Herabsetzung der Erregbarkeit werden wir später noch zu besprechen haben. Waren es aber nicht die Muskeln, welche gelähmt waren, so konnte man auf den Nervenapparat recurriren, und zwar zunächst auf die motorischen Nerven und ihre intramusculäre Ausbreitung. Bei faradischer Reizung der Plexus und Nervi

ischiadici konnten wir aber keinen Unterschied mehr in dem Verhalten der cocaïnisirten und nichtcocaïnisirten Seite erkennen, so dass von einer Betheiligung der motorischen Nervenendigungen und -Fasern beim Zustandekommen der Lähmung nicht die Rede sein kann.

Nun wäre es ja allenfalls denkbar gewesen, dass die Cocaïnlösung, ohne die peripheren Apparate anzugreifen, durch Weichtheile und Wirbelsäule hindurch zum Rückenmark diffundirte und hier ihre lähmende Wirkung ausübte. Dass dem nicht so war, ging daraus hervor, dass die Lähmung nicht beiderseitig auftrat. Diese Einseitigkeit der Affection würde sich dagegen mit der Unterstellung vertragen haben, dass das Gift in die Muskeln, von dort durch motorische Endigung die motorischen Fasern hinauf zu den Ganglienzellen der Vorderhörner derselben (z. B. rechten) Seite dringt und nur diese lähmt. So unwahrscheinlich diese Unterstellung auch ist, und so auffallend es wäre, dass bei diesem Vorgange der ganze peripherische Apparat nur Marschroute für das Gift sein sollte, ohne erkennbare Schädigung seiner Functionen zu erfahren, so verdiente dieselbe doch ernstlich geprüft zu werden und erschien einer Widerlegung würdig.

Applicirt man auf die rechte vordere Extremität eines Forsches, dem das rechte Hinterbein in der angegebenen Weise cocaïnisirt (und dadurch „gelähmt“) ist, einen stärkeren sensiblen (faradischen) Reiz, so sieht man auch an dem cocaïnisirten Beine energische Bewegungen.

Der ganze motorische Apparat als solcher ist also gar nicht gelähmt. Wir müssen daher mit Vulpian annehmen, dass die motorische Lähmung die Folge der gänzlichen Aufhebung der Sensibilität ist, um so mehr, als man dieselbe scheinbar motorische Lähmung auch sieht bei Fröschen nach Durchschneidung sämmtlicher hinteren (sensiblen) Wurzeln des einen (z. B. rechten) Plexus ischiadicus, wo doch jedenfalls der motorische Apparat absolut intact ist.

Es erschien uns nun wünschenswerth festzustellen, welches innerhalb des sensiblen Gesammtapparates die Angriffspunkte des Cocaïns sind, d. h. wie weit anatomisch ausgedehnt dieser Wirkungskreis im gegebenen Falle ist. Wir haben an entbluteten Fröschen, deren rechte hintere Extremität cocaïnisirt war, die am unteren Drittel des Oberschenkels freigelegten Nervi ischiadici an gleichen Stellen gereizt und gefunden, dass von hier aus zur Auslösung von Abwehr-Bewegungen der vorderen Extremitäten beiderseits genau dieselbe Stromstärke erforderlich war. Es war also weder die Leitung in den Nervenfasern des Stammes an der cocaïnisirten Extremität herabgesetzt oder gar aufgehoben, noch waren die centralen Ganglienzellen ihrer Fähigkeit verlustig gegangen, sensible Reize auf den motorischen Apparat zu übertragen; mit anderen Worten, sensible Nervenfasern und Centralganglien waren nicht gelähmt, so dass an eine etwaige Diffusion der

Cocaïnlösung von den peripherischen sensiblen Endigungen her bis vielleicht gar zu den Ganglienzellen der Hinterhörner nicht gedacht werden darf.

Jedoch sind es nicht bloss die eigentlichen sensiblen Endigungen, welche unter den angegebenen Versuchsbedingungen von der Cocaïnwirkung betroffen werden, sondern auch die Anfangsstrecken der Leitung. Legt man z. B. eine Zehe der cocaïnisirten Extremität über genügend von einander abstehende Elektroden und sendet so durch die ganze Zehe die stärksten zulässigen faradischen Stromstösse, so äussert das Thier keinerlei Empfindung (vorausgesetzt, dass unipolare Wirkungen vermieden werden). Hier haben wir also constatirt, dass auch die in der Länge der Zehe verlaufenden sensiblen Leitungsstücke unempfindlich geworden sind.

Ueber diese Anfangsstrecken aber hinaus dringt, wie wir gesehen haben, das Gift nicht, geschweige denn, dass es durch die sensiblen Ganglienzellen hindurch bis zu den Vorderhörnern diffundirend dort lähmend einwirkte.

Sonach haben wir uns vorzustellen, dass die bei localer Application von Cocaïn auf die Haut enthirnter und circulationsloser Frösche neben der Anaesthesie auftretende motorische Lähmung der cocaïnisirten Extremität ausschliesslich bedingt ist durch die Lähmung der Peripherie der sensiblen Nervenfasern (Endigungen und Anfangstheile der Leitung).

Ein weiter gehender Schluss ergiebt sich aus der Thatsache, dass jene motorische Lähmung in ihrer Vollständigkeit prompt nur an Fröschen mit aufgehobener Blutcirculation sich zeigt, während die Anaesthesie der Haut in gleicher Stärke auftritt bei bestehender wie bei aufgehobener Circulation. Hieraus kann man entnehmen, dass, entgegen der Ansicht Vulpian's, die Unempfindlichkeit bloss der Haut beim Zustandekommen der motorischen Lähmung keine Rolle spielt, und dass erst die Einwirkung des Cocaïns auf die sensiblen Nervenendigungen der tiefer gelegenen Teile (Aponeurosen, Sehnen, Muskeln) hier in Betracht kommt. Das allgemeine und ausgedehnte Vorkommen sensibler Nervenendigungen in den Muskeln und ihren Adnexis ist seit den klinischen Beobachtungen Westphal's über den Sehnenreflex, zumal aber nach den Thierversuchen Tschirjew's ja überall anerkannt. Uebrigens sprach hierfür schon längst die Erfahrung, dass der Muskelkrampf intensive Schmerzen verursacht, und dass wir Menschen an uns selbst den Spannungsgrad der Muskeln bei ihrer eigenen Contraction, sowie bei derjenigen der Antagonisten ziemlich genau abschätzen können.

Wir haben es bisher absichtlich vermieden, so verlockend es auch hätte sein können, bei der Analysirung der Cocaïnwirkung das Gebiet der strittigen „Tonusfrage“ zu betreten. Da aber das Cocaïn bereits von zwei Forschern zur Ermittelung der Natur des Tonus (ob reflectorisch oder automatisch) verwendet worden ist, so sind wir verpflichtet, die Experimente derselben

einer genauen Kritik zu unterziehen und mit unseren Ergebnissen zu vergleichen.

Indem es uns übrigens gelungen ist, auch ohne diesen Excurs die Cocaïnwirkung zu analysiren, haben unsere Ergebnisse den Vortheil, dass sie durch eine etwaige Entscheidung der Tonusfrage nach der einen oder anderen Seite hin in keiner Weise dereinst entwerthet werden können.

Der eine der erwähnten Forscher, v. Anrep,[1] suchte zunächst durch Cocaïn die ganze sensible Hälfte des Reflexbogens lahm zu legen, um dann aus dem Fortfall oder Bestehenbleiben jenes „Tonus" einen Schluss auf die reflectorische oder automatische Natur des letzteren ziehen zu können. Aber v. Anrep, obwohl er selbst mit zu den ersten gehörte, welche die local anaesthesirende Wirkung des Cocaïns gesehen hatten, kannte noch nicht die Methode der localen Anaesthesirung und applicirte das Cocaïn subcutan — also resorptiv. Bei seinen Versuchen schwand der Tonus, und er schloss daraus, dass der letztere ein reflectorischer und kein automatischer gewesen sei.

Dem hält Mommsen[2] mit Recht entgegen, dass dabei möglicherweise die motorischen Centralapparate afficirt werden könnten, und ein Beweis für das Intactbleiben derselben nicht vorliege. Wir glauben dem hinzufügen zu müssen, dass im Gegentheil wirklich bei der Resorption des Cocaïns die motorischen Centralapparate gelähmt werden, und dass daher der v. Anrep'sche Cocaïnversuch die reflectorische Natur des sogenannten Tonus nicht beweisen kann.

Mommsen seinerseits macht die Haut durch locale Eingriffe anaesthetisch und sieht dabei den Tonus zunächst fortbestehen. Daraus zieht er den Schluss, dass der letztere unabhängig ist von der Sensibilität der Haut. Bei seinen hierauf bezüglichen Versuchen hatte er sich zuerst der Carbolsäure als Anaestheticum bedient, wobei er aber nach einiger Zeit doch eine Herabsetzung des Tonus beobachtete. Die letztere macht er abhängig von dem Eindringen des Giftes zu tiefer gelegenen Theilen: „Die Dauer des Tonus ist beträchtlich herabgesetzt, da die Carbolsäure allmählich auch zu den tiefer gelegenen Theilen (Aponeurosen, Muskeln) vordringt." Aber er erörtert nicht, ob durch die Carbolsäure etwa die Muskeln gröber oder feiner verändert werden, oder ob die motorischen Nervenendigungen oder -Fasern, oder sonstige hier gelegenen Gewebe oder Apparate beeinflusst werden, oder auf welche Weise überhaupt das Phenol bei seinem tieferen Eindringen den Tonus zum Verschwinden bringt. Bezüglich der Carbolsäure können wir diese fehlende Analysirung der Wirkung auf die tieferen

---

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXI. S. 226.

[2] *Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin.* Bd. CI. Hft. I. S. 22.

Theile als ausser dem Bereich unserer Aufgabe liegend füglich übergehen, aber Mommsen sagt ausdrücklich, dass seine analogen Versuche mit 2 procentiger Cocaïnlösung dasselbe Ergebniss lieferten.

Wir glauben, dass unsere oben gemeldeten Versuchsresultate in nicht unerwünschter Weise ergänzend dürften eintreten können, wenigstens soweit Cocaïn hierbei in Betracht kommt.

Es ist nicht unsere Absicht, der Frage nach dem Reflextonus näher zu treten, wir glauben aber doch darauf hinweisen zu sollen, wie die von uns gefundenen Thatsachen sich glatt unter folgender Auffassung unterordnen (ohne dass wir jedoch der Meinung wären, dieselbe sei durch unsere Versuche streng erwiesen): Es bleibt dahingestellt, ob bei dem vollständig „ruhenden“, in normaler Haltung kauernden Frosche bei mittlerer Temperatur ein reflectorisch veranlasster Tonus der Extremitätenmuskeln besteht oder nicht. Mit zunehmender Spannung der Muskeln, zumal entgegen der normal hockenden Stellung werden die sensiblen Nervenendigungen der Muskeln in zunehmendem Grade gereizt, und es kommt hierbei zu einer reflectorischen Erregung der motorischen Apparate, deren Entstehung durch locale Einwirkung des Cocaïns auf die sensible Peripherie (in den Muskeln) verhindert wird.

III. Locale Einwirkung des Cocaïns auf die Nervenstämme.

Es giebt eine Zahl von Beobachtungen, welche für eine locale Einwirkung des Cocaïns auf die Nervenstämme zu sprechen scheinen. So sieht man nach subcutaner Injection von Cocaïnlösung in der Umgebung der Injectionsstelle vollkommene Anaesthesie auftreten. Ferner berichtet Livierato,[1] dass nach localer subcutaner Injection von Cocaïn neuralgische Schmerzen aufhören: „La cocaina è capace di attutire e far cessare del tutto il dolore nevralgico“. Neuerdings sah Feinberg,[2] dass nach Aufträufelung einiger Tropfen 5 procentiger Cocaïnlösung auf den entblössten Nervus ischiadicus (bei welchem Thiere, ist nicht angegeben) in kurzer Zeit vollständige Anaesthesie auftrat; „Mechanische Insulte, Aufhebung mit der Sonde u. s. w. bringen nicht die geringste Reaction hervor“.

Es könnte nun scheinen, als ob diese Thatsachen eine directe Einwirkung des Cocaïns auf die Nervenstämme beweisen und somit unsere Untersuchungen, ob die Einwirkung auf die Peripherie eine directe oder indirecte sei, beinahe überflüssig machen würden. Doch lassen jene Be-

---

[1] *Lavori dell' Istituto di clinica medica di Genova.* (Prof. E. Maragliano.) Vol. II. Nr. 4.

[2] *Berliner klinische Wochenschrift.* Jahrgang XXIII. Nr. 4.

obachtungen auch andere Deutungen zu. Bezüglich der localen Anaesthesie im Gebiete subcutaner Injection beim Menschen ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass das Cocaïn vom Unterhautzellgewebe aus in die Haut eindringt und so durch directe Lähmung der peripheren sensiblen Nervenendigungen die Unempfindlichkeit bedingt, wobei der betreffende Nervenstamm gar nicht angegriffen zu sein braucht. Das Aufhören von Neuralgien nach Injection von Cocaïn in der Nähe des schmerzenden Nerven beweist ebenfalls keine directe Einwirkung auf den Nervenstamm, da nach Livierato die gleiche Wirkung sich auch zeigt nach Injection an einer entfernteren Körperstelle: „Questa sua azione sul dolore non solo ha luogo nel sito ove fu praticata l'iniezione, ma anche a distanza". Offenbar handelt es sich dabei um central narkotische Wirkung des Cocaïns."

Was die oben erwähnte Beobachtung Feinberg's betrifft, so ist dieselbe nur gelegentlich gemacht und konnte uns um so weniger von unseren Untersuchungen über die Einwirkung des Cocaïns auf die Peripherie abhalten, als durch sie ja absolut nicht bewiesen wird, dass die locale peripherische Anaesthesie mit der nach Application von Cocaïn auf den Stamm auftretenden identisch ist. Veranlasst doch Ammoniaklösung auf den Stamm applicirt auch Anaesthesie und ist doch, auf die Haut angewandt, kein locales Anaestheticum wie das Cocaïn. Und deshalb war uns eine Untersuchung, ob die Wirkung an der Peripherie eine directe oder indirecte ist, nicht überflüssig erschienen.

So wie Feinberg übrigens seine Beobachtung darstellt, hat es den Anschein, als handele es sich um eine durch Cocaïn bedingte Lähmung bloss der sensiblen Nervenfasern, während die motorischen und die übrigen Nervenfasern ganz intact blieben. Dadurch würde aber eine Reihe von wichtigen Fragen aufgeworfen, z. B. diejenige nach der Identität der motorischen und sensiblen Fasern. Und deshalb weil hier Fragen von solcher Wichtigkeit auftauchen, schien es uns wünschenswerth, einerseits die Angabe Feinberg's einer Nachprüfung zu unterwerfen, und andererseits die Wirkung des auf gemischte Nervenstämme direct applicirten Cocaïns einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen. Wir benutzten hierzu theils Frösche, theils Kaninchen.

Wenn wir an einer enthirnten Esculenta den einen (rechten) freigelegten Plexus ischiadicus vorsichtig mit 5 procentiger Cocaïnlösung derartig bestrichen, dass letztere nicht abfliessen und zu benachbarten Theilen gelangen konnte (indem wir einen Glasspatel unter den Plexus schoben), so sahen wir bald eine absolute Anaesthesie der Haut des zugehörigen (rechten) Beines auftreten, gleichzeitig aber auch eine motorische Lähmung. Das Bein wurde wie fremd nachgeschleppt und nicht bewegt. Wer aber hier schliessen wollte, dass die Motilität durch directe Lähmung der mo-

torischen Fasern aufgehoben, und dass somit die Identität der motorischen und sensiblen Fasern als solcher gerettet sei, würde sich doch irren, denn auch hier ist die scheinbare Lähmung nur eine Folge der Aufhebung der Muskelsensibilität. Applicirt man nämlich einen sensiblen (z. B. faradischen) Reiz auf die Haut der gleichseitigen vorderen Extremität, so führt die cocaïnisirte scheinbar motorisch gelähmte Extremität noch Bewegungen aus. Die motorischen Nervenfasern des cocaïnisirten Plexus ischiadicus sind also für die Erregung offenbar nicht undurchgängig. Und doch besteht dabei Anaesthesie, — es dringen die sensiblen Erregungen zum Centralnervensystem nicht durch! Sollen wir hieraus schliessen, dass die directe Application des Cocaïns auf den Nervenstamm die sensiblen Fasern für die Erregung undurchgängig macht, dagegen die motorischen Fasern intact lässt? Sollen wir die Identität der beiden Fasergattungen hierdurch als widerlegt ansehen? Wir glauben diese Fragen verneinen zu können. Ehe wir nämlich einen solchen principiellen Unterschied annahmen, versuchten wir zunächst unsere Beobachtung derart zu erklären, dass sie mit der bisherigen allgemeinen Annahme der Identität der motorischen und sensiblen Fasern nicht im Widerspruch wäre. Wir gingen dabei von folgenden Betrachtungen aus. Es ist uns aufgefallen, dass man an Kaninchen sehr starke und weit ausgedehnte Reize (mechanische, thermische, chemische u. s. w. auf die unverletzte Haut einwirken lassen kann, ohne dass dieselben besonders auffallende Zeichen von Schmerz von sich geben. Spritzt man jedoch eine irritirende oder ätzende Flüssigkeit unter die Haut — applicirt man also die Reize auf den Anfang der sensiblen Leitung, so reagirt das betreffende Versuchsthier mit Schreien. Besonders regelmässig aber schreien die Kaninchen äusserst heftig bei selbst nur leichterer Beleidigung der sensiblen und gemischten Nervenstämme. So sieht man bekanntlich, dass ein Kaninchen, dessen Trigeminusstamm in der Schädelhöhle mit einem Instrumente bloss berührt wird — gewiss ein geringer Insult — Zeichen der heftigsten Schmerzen von sich giebt (schreit u. s. w), und ebenso bei nur leichtem Zerren am entblössten Nervus ischiadicus.

Zur Erklärung dieser Beobachtungen glauben wir annehmen zu dürfen, dass die sensiblen Nervenendigungen, in ihrer Erregbarkeit durch Reize maximal in Anspruch genommen, nicht im Stande sind, den sensiblen Fasern Erregungen zu übermitteln, welche das erreichbare Maximum der Erregung dieser Fasern darstellen; und ferner glauben wir statuiren zu sollen, dass die gleiche lebendige Kraft, wenn sie als Reiz auf die sensible Endigung einwirkt, indirect eine geringere Erregung der sensiblen Leitung veranlasst, als wenn sie die letztere direct getroffen hätte.

Wollen wir nun bei unserem Cocaïnversuche keinen principiellen Unterschied zwischen motorischer und sensibler Nervenfaser gelten lassen, so

brauchen wir diesen Betrachtungen gemäss nur anzunehmen, dass die sensiblen Nervenfasern genau ebenso wie die motorischen durch das Cocaïn beeinflusst werden, dass aber beide nicht gelähmt sind, sondern nur eine Herabsetzung ihrer Leitungsfähigkeit erfahren haben. Diese Verminderung des Leitungsvermögens würde schon genügen, um in der sensiblen Sphaere das an sich, wie wir sahen, nur geringe Maximum der von den Endigungen her übertragbaren Erregungen nicht mehr hindurchzulassen, — während noch stärkere Erregungen passiren würden. Aber wenn dieser Gedankengang zulässig sein soll, dann muss nachweisbar sein, dass Erregungen, welche eben hinreichend stark sind, um durch die cocaïnisirte Stelle der motorischen Faser durchzudringen und Muskelaction zu erzeugen, auch genügend wären, um bei Application auf die sensible Leitung die cocaïnisirte Stelle dieser Faser ebenfalls zu durchdringen. Es musste demnach der Beweis geliefert werden erstens, dass Reizung des Nerven unterhalb der cocaïnisirten Stelle bei eben vollständiger Hautanaesthesie wirklich noch Empfindung hervorruft; zweitens, dass mit der Herabsetzung der Leitungsfähigkeit resp. Erregbarkeit der sensiblen Fasern an der cocaïnisirten Stelle auch eine solche der motorischen Fasern gleichen Schrittes stattgefunden habe.

Was den ersten Beweis betrifft, so waren Frösche ein weniger geeignetes Versuchsmaterial, da man bei diesen Thieren kein eclatantes Erkennungszeichen für Empfindungen hat ausser Reflexbewegungen; und diese kommen bekanntlich prompt nur bei Hautreizen, nicht aber bei Reizung der Nervenstämme vor; die Aeusserungen des Schmerzes sind aber bei Fröschen nicht leicht controlirbar. Wir verwendeten deshalb zur Untersuchung dieses Theiles unserer Aufgabe Kaninchen, bei denen man erstens aus der Haltung des Körpers, zumal der Löffel, einen Schluss auf sensible Empfindungen ziehen kann, und bei denen namentlich das Schreien ein sicheres Erkennungszeichen für empfundenen Schmerz liefert.

Wir praeparirten an passend fixirten Kaninchen beide Nervi ischiadici frei und legten denselben an einer bestimmten Stelle in Form von Nervenklemmen die Elektroden der secundären Rolle eines du Bois-Reymond'schen Schlittens an. Zunächst stellten wir für die linke Seite die Stromstärke fest, welche nothwendig war, um einen Tetanus der Wadenmusculatur zu erzeugen; für die rechte Seite wurde bestimmt, bei welchem Rollenabstande das Versuchsthier zuerst durch Erheben des Kopfes und namentlich durch Spitzen der Löffel Zeichen sensibler Empfindungen von sich gab; dann aber auch, wann wirklicher intensiver Schmerz durch Schreien u. s. w. angezeigt wurde. Hierauf wurden beide Nerven mittels eines Pinsels mit 5 procentiger Cocaïnlösung nur mässig reichlich bestrichen, und zwar der linke unterhalb, der rechte oberhalb der angelegten Elektroden. Es gelang alsdann, durch wiederholte Prüfungen die allmähliche Herabsetzung der Leitungsfähigkeit

mit zunehmender Zeit der Einwirkung des Cocaïns genau zu verfolgen, und zwar diejenige der motorischen Fasern durch Reizung des linken, diejenige der sensiblen Fasern durch Reizung des rechten Nerven. Das Ergebniss war, dass wir einerseits vollständige Hautanaesthesie des rechten Hinterbeines constatiren konnten, wo das Kaninchen Zeichen sensibler Empfindungen bez. Schmerz schon bei Reizung mit verhältnissmässig wenig stärkeren Strömen erkennen liess, als wir sie für den nicht cocaïnisirten Nerven festgestellt hatten; andererseits ging die mit der Zeit immer bedeutender werdende Herabsetzung der Leitungsfähigkeit der motorischen (bestimmt durch Reizung links) und der sensiblen Fasern (bestimmt durch Reizung rechts) bis zu der endlich eintretenden völligen Unerregbarkeit der beiden Fasergattungen ganz gleichmässig von statten. Sobald völlige Anaesthesie eingetreten, war auch jegliche Motilität aufgehoben. Bei der von uns angewandten Art der Application der Cocaïnlösung dauerte es ungefähr 10 Minuten bis zu leichter, 13 bis 14 Minuten bis zu bedeutender Herabsetzung und etwa 25 Minuten bis zu völliger Aufhebung des Leitungsvermögens.

Analoge und vervollständigende Beobachtungen machten wir an Fröschen bez. Nervmuskelpraeparaten von solchen. Insbesondere wurde hier auch genauer constatirt, dass in dem Maasse, wie durch Cocaïn das Leitungsvermögen der motorischen und sensiblen Fasern vermindert wird, auch die Erregbarkeit der cocaïnisirten Stelle gegen faradische Reizung vermindert ist, und dass beide Qualitäten gleichmässig erlöschen. Eine besondere Aufmerksamkeit schenkten wir übrigens aus den oben angeführten Gründen nur dem Verhalten der motorischen Fasern des Frosches dem Cocaïn gegenüber. Wie beim Kaninchen, so zeigte sich auch hier, dass durch verhältnissmässig geringe Mengen einer 5 procentigen Cocaïnlösung schliesslich eine vollständige Undurchgängigkeit der Nerven für Erregungen eintritt, und dass an die anfänglich nur scheinbare motorische Lähmung, welche die Folge der Muskelunempfindlichkeit ist, endlich eine wirkliche motorische Lähmung sich anreiht. Ist dieser Zustand eingetreten, so bekommt man selbst auf die heftigsten Hautreize am übrigen Körper des Thieres natürlich keine Bewegungen der cocaïnisirten Extremität mehr. Und hat man den Nervus ischiadicus am Oberschenkel stärker cocaïnisirt und faradisirt den Plexus, so bekommt man schliesslich keinen Tetanus der Wadenmusculatur. Hier ist zu bemerken, dass eine Täuschung unterlaufen kann, indem die Muskeln des Oberschenkels, welche ja von früher abgehenden Aesten innervirt werden, sich contrahiren und durch Schleuderung des Unterschenkels und Fusses den Schein einer selbständigen Action der Muskeln der letzteren entstehen lassen, wo diese schon völlig gelähmt sind. Deshalb amputirten wir den Schenkel mit Schonung des Nerven unmittelbar oberhalb des

Kniees, praeparirten den Nerven bis zum Abgang der Oberschenkeläste frei und schützten uns auf diese Weise vor der erwähnten Fehlerquelle. Die gleiche Lähmung der motorischen Fasern sahen wir auch an ausgeschnittenen Nervmuskelpraeparaten, bei denen der Nerv an einer Stelle mit Cocaïnlösung befeuchtet war. Zur genaueren Controle wurde an einem Frosche das Nervmuskelpraeparat beiderseits so hergerichtet, dass die beiden Praeparate durch das untere Stück der Wirbelsäule noch in Verbindung miteinander waren. Der eine Nerv wurde cocaïnisirt, der andere nicht, das Doppelpraeparat in der feuchten Kammer aufbewahrt. Die nicht cocaïnisirte Seite gab vom Plexus her noch stundenlang Tetanus, während auf der anderen Seite schon nach 25 Minuten sich die cocaïnisirte Stelle als undurchgängig erwies.

Kehren wir zu unseren Kaninchenversuchen zurück, so haben wir noch einiges ergänzend nachzutragen. Vor der Cocaïnisirung zeigte sich die Reihenfolge sensibler und motorischer Reaction bei Steigerung der Stromstärke in der Weise, dass lange bevor der Tetanus der Wadenmusculatur sich zeigte, das Thier die Löffel spitzte, den Kopf erhob, kurz, deutliche Zeichen einer Empfindung erkennen liess („Schmerz", d. h. Schreien trat erst auf bei Stromstärken, welche starken Tetanus lieferten). Dies steht in Uebereinstimmung mit der Angabe Valentin's:[1] „Vergleicht man überhaupt, wie dieselbe Reizgrösse auf die Empfindungs- und die Bewegungsnerven wirkt, so ergiebt sich, dass jene die Erregungen mit grösserer Feinheit erwidern, als diese". Die bei der Cocaïnisirung beobachtete Thatsache jedoch, dass bei gleicher Schädigung der Leitungsfähigkeit in den sensiblen und motorischen Fasern eines gemischten Nerven viel früher eine Hautanaesthesie auftritt, als Undurchgängigkeit der motorischen Fasern, und ferner die Thatsache, dass die periphere Anaesthesie schon auftritt lange vor Undurchgängigkeit der sensiblen Fasern, deckt die Unzulässigkeit eines Gedankens auf, den Valentin äusserte, und der nach ihm wohl allgemein acceptirt worden ist. Es betrifft dies die Wirkung des Curare. Valentin sagt (l. c. § 1249): „Können dann noch die Hautnerven Reflexbewegungen der [*sc.* in Folge von Unterbindung der zuführenden Gefässe] nicht gelähmten Theile und daher auch wahrscheinlich Empfindung hervorrufen, so wiederholt sich hierbei nur die schon — — erläuterte feinere Wirkung der Empfindungs- als der Bewegungsfasern". Wir bestreiten, dass Curare gleichartig auf sensible wie motorische Fasern wirkt; sonst müsste gerade das Umgekehrte von dem, was thatsächlich der Fall ist, eintreten; es müsste eine cutane Unempfindlichkeit eher auftreten, als motorische Lähmung — gerade wie dies Cocaïn bei Application auf einen gemischten Nervenstamm ver-

[1] Valentin, *Versuch einer physiologischen Pathologie der Nerven.* 1864. § 199.

ursacht. Denn wie wir sahen, ist das Maximum der Erregung, welche die sensiblen Endigungen den sensiblen Fasern übermitteln können, kleiner, als diejenigen Erregungen, welche die motorischen centralen Ganglienapparate der motorischen Faser auf senible Reizung (Reflex u. s. w.) hin zu ertheilen im Stande sind. Und bei einer gewissen Grösse der Erschwerung in der Faserleitung (Verminderung der Erregbarkeit der vergifteten Faserquerschnitte) würde selbst bei maximaler Erregung der specifischen peripheren sensiblen Endorgane gar keine Erregung mehr der sensiblen Ganglienzelle zugeleitet, und obwohl diese letztere im Vergleich zum Muskel das an sich empfindlichere Erfolgsorgan ist, würde doch die Motilität die Sensibilität nach Curare überdauern müssen, wenn beide Fasergattungen gleichmässig vergiftet würden. Die Erklärung der Curarewirkung hat unserer Meinung nach auf den Unterschied der Endigungsweise derselben und auf die hierdurch bedingten Unterschiede in der Zufuhr ihres Nährmaterials und dementsprechend auch des Giftes zu recurriren. Wir halten es für zweifellos, dass die sensiblen Fasern weniger Pfeilgift erhalten, als die motorischen.

IV. Wirkung des Cocaïns auf die Endigungen der motorischen Nerven.

Wie im II. Cap. erwähnt, war bei Application des Cocaïns auf die Haut entbluteter Frösche neben den sonstigen an jener Stelle erörterten Erscheinungen auch eine, wenngleich geringe, Herabsetzung der directen Erregbarkeit der Musculatur an der cocaïnisirten Extremität zu constatiren. Störungen im motorischen Apparate nach allgemeiner resorptiver Vergiftung durch Cocaïn sind von früheren Autoren erwähnt. Aber bei Moreno,[1] Nikolsky[2] und Danini[3] ist kein Anhaltpunkt dafür gegeben, ob die allgemeine Schwäche und Lähmung der Versuchsthiere vom Centralnervensystem herrührt oder peripherisch, sei es im Muskel oder in den motorischen Nerven, begründet ist. v. Anrep[4] dagegen constatirt nach resorptiver Vergiftung eine geringe Schwächung der Endigungen der motorischen Nerven in den Muskeln bei Intactbleiben der Musculatur selber, — also eine schwache an Curare-Wirkung erinnernde Parese der intramusculären Nerven. Auf diese

---

[1] Moreno, *Recherches chimiques et physiologiques sur l'Erythroxylon coca du Pérou et la cocaïne.* Paris 1868.

[2] Nikolsky, *Beiträge zur Cocaïneinwirkung auf den Thierorganismus.* Petersburg. (Russisch).

[3] Danini, *Ueber physiologische Wirkung und therapeutische Anwendung des Cocaïns.* Charkow 1873. (Russisch.)

[4] v. Anrep, Ueber die physiologische Wirkung des Cocaïns. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXI. S. 38.

curareähnliche Wirkung konnte ja wohl auch bei directer Application wie in unseren Versuchen die geringfügige Verminderung der Muskelerregbarkeit bezogen werden.

Ueber die resorptive Wirkung des Cocaïns auf die motorischen Nervenendigungen sagt v. Anrep: „Grosse Gaben lähmen fast vollständig die sensiblen Fasern des N. ischiadicus und setzen beträchtlich auch die Reizbarkeit der motorischen Fasern herab, vollständig werden dennoch die letzteren nie gelähmt. Die Unterbindung der Arteria iliaca communis auf der einen Seite bewirkt keinen wesentlichen Unterschied in den Reflexerscheinungen bei dem mit Cocaïn vergifteten Frosche, die reflexlähmende Wirkung tritt nur ein wenig später auf der unterbundenen Seite ein.“

Es war uns nun interessant nachzusehen, wie die motorischen Nervenendigungen sich verhalten würden, wenn Cocaïn in solcher Concentration direct auf sie einwirkte, wie sie zur vollständigen Lähmung der sensiblen Nervenendigungen eben genügt. Zu diesem Zwecke brachten wir mittels einer Glascanüle etwa 0·25 ccm einer 5 procentigen Cocaïnlösung in die rechte Art. iliaca comm. eines Wasserfrosches, dessen Bauchvene und rechte zuführende Nierenvene durchschnitten waren, und beobachteten Folgendes. Die faradische Reizung (der Plexus und Nervi ischiadici) ergiebt nach Ablauf von zwei Minuten vollständige Reactionslosigkeit auf der rechten (cocaïnisirten) Seite, dagegen normale Erregbarkeit auf der linken. Directe Reizung der Muskeln der cocaïnisirten Extremität zeigt, verglichen mit derjenigen der entgegengesetzten Seite, eine nur unbedeutende Abschwächung der Erregbarkeit. Das äussere Ansehen der mit 5 procentiger Cocaïnlösung durchströmten Muskeln lässt keinen Unterschied von der Norm erkennen.

Aus diesem Versuche geht hervor, dass das Cocaïn bei directer Einwirkung die motorischen Nervenendigungen schon nach kurzer Zeit vollständig lähmt, während die Muskeln, wie bei Curare, erregbar bleiben.

V. Schluss.

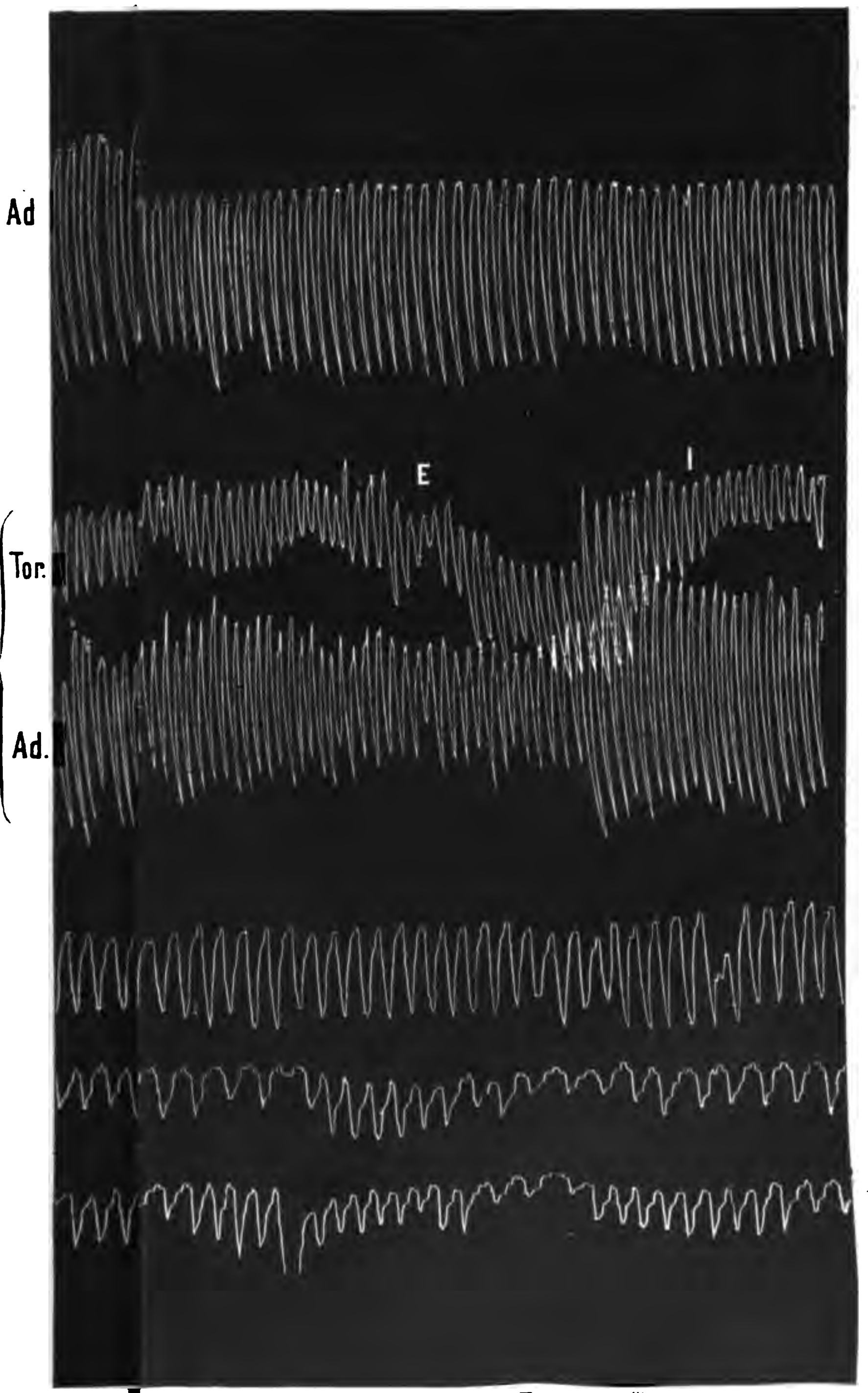
Ueberblicken wir noch einmal die von uns festgestellten Cocaïnwirkungen, so sehen wir, dass überall, wo das Cocaïn Gelegenheit hat, in grösserer Concentration mit thierischen Geweben inniger in Berührung zu kommen, die Nervenfasern und deren peripherische Endigungen sowohl in der sensiblen wie in der motorischen Sphaere gleichmässig gelähmt werden. Die chemische Veränderung, welche hierbei die Nervenflüssigkeiten erfahren, kann — wie aus der Flüchtigkeit der Cocaïnwirkung (bei mässiger Anwendung) sich von selbst ergiebt — keine sehr bedeutende sein.

Wenn wir unter dem Mikroskope zwei zerzupfte (Frosch-) Nervenpraeparate mit einander verglichen, von denen das eine in 0·6 procentiger Kochsalzlösung, das andere in 5 procentiger Cocaïnlösung sich befand, so erschienen die Fasern in letzterer entschieden weniger glänzend, als in ersterer. Gröbere Veränderungen sahen wir nicht. Ob die Abnahme des Glanzes für diejenige innere Veränderung der Faser bezeichnend ist, welche die Ursache des zeitweiligen Erlöschens der Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit abgiebt, lassen wir natürlich durchaus dahingestellt.

Weiteren Untersuchungen müssen wir es auch vorbehalten, ob die Trockenheit cocaïnisirter Schleimhäute auf der directen Lähmung der secretorischen Nerven beruht — eine Annahme, die vermuthlich das Richtige treffen würde — oder ob, wie neuerdings vermuthet wurde, diese Trockenheit nur die Folge der Ischaemie ist.

Archiv f. Anat. u. Phys. 18

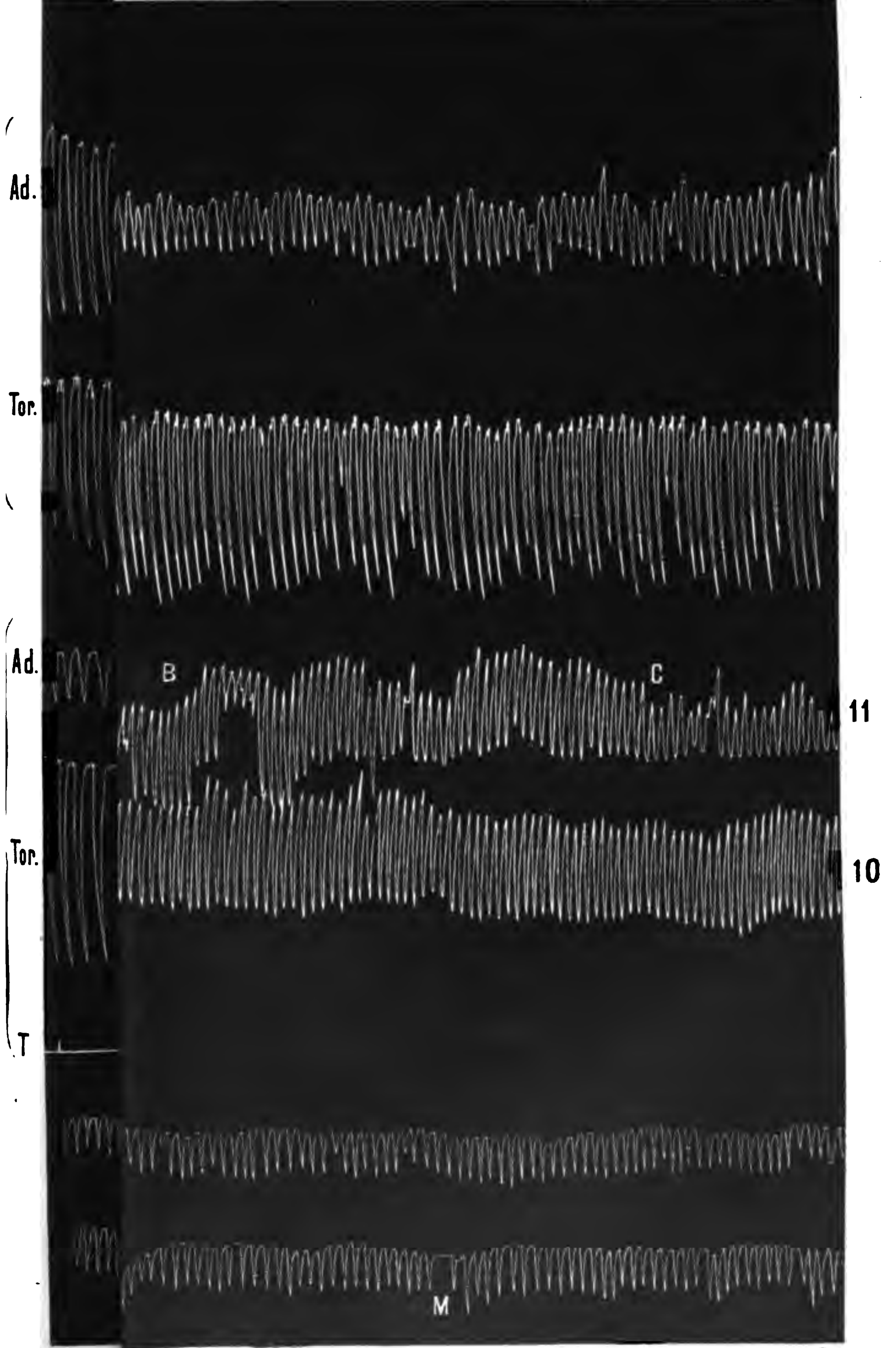
Fig 1a



Fotolit. F.lli Doyen. Torino.

Arch[...]

A. MOSSO. *Periodische Athmung.* Taf. III.



Fotolit. F^lli Doyen Torino.

12

13

14

15

16

17

Fotolit. F.lli Doyen - Torino

